



**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты  
безопасности строительных  
критичных инфраструктур»**

**«Economic and Technical Aspects  
of Safety of Civil Engineering  
Critical Infrastructures»**

**SAFETY2015**

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

**Сборник тезисов**

Электронное текстовое издание

## СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

10-11 июня 2015 г.

Сборник тезисов

Редактор  
Компьютерная верстка

*В.Н. Алёхин*  
*З.В. Беляева*

Электронный формат – pdf  
Объем 12,5 уч.-изд. л.

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19  
Информационный портал УрФУ <http://www.urfu.ru>

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ASSESSMENT OF RISK AND RESILIENCY OF UNCONVENTIONAL FOSSIL FUEL ENERGY INFRASTRUCTURES: A NEW ANALYSIS FRAMEWORK AND MINDSET**

*Adrian Gheorghe*

Old Dominion University, Norfolk, VA, USA,  
adriangheorghe9145@gmail.com

*Sviatoslav Timashev*

Ural Federal University, Ekaterinburg

Science and Engineering Center «Reliability and Safety of Large Systems and  
Machines» of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Ekaterinburg,  
timashevs@gmail.com

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Unconventional fossil fuel revolution that took place in the United States at the beginning of the 21st century has triggered an intense public debate regarding its environmental possible impacts. Fugitive methane emissions, groundwater pollution, and increased seismicity are suggested as fracking negative potential environmental impacts. The complex interdependent infrastructures which provide for the highly effective fracking technology are being expanding very fast, while conventional risk analysis frameworks such as probabilistic risk assessment (PRA) cannot cope with its requirements due to their high complexity and considerable lack of knowledge about their consequences. The question which rises is do we have a chance to assess those challenges or do we have to live with the fear of black swan events.

In the current study, authors aim at analyzing the unconventional fossil fuel industries in the United States as a complex sociotechnical system, which is required to be resilient in the market. Authors discuss on the necessity of developing new analytical and experimental frameworks which cope with the complex socio - technical requirements and are able to develop full groups of possible and plausible scenarios. We propose and review on a new agent-based modeling approach in the context of “System of Systems” theory as a suitable modeling framework, which makes us capable of simulating the complexity of behaviors of different decision makers and capture all types of interdependencies. We have focused on the concept of resiliency and its implications in the area of sociotechnical system as a new mindset toward analysis of systemic risks as related to interdependent critical infrastructures.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# DESIGNING RESILIENCY OF CITY INFRASTRUCTURES COMPRISED OF PRESENT AND NEXT GENERATION SYSTEMS USING GAMING TECHNOLOGY

*Adrian Gheorghe*

Old Dominion University, Norfolk, VA, USA,  
adriangheorghe9145@gmail.com

*Sviatoslav Timashev*

Ural Federal University, Ekaterinburg

Science and Engineering Center «Reliability and Safety of Large Systems and  
Machines» of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Ekaterinburg,  
timashevs@gmail.com

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

To be capable of making informed decisions on increasing resiliency of a city, a system of systems concept for infrastructures providing complex services is introduced [1]. In the framework of this concept the risk analysis focuses on providing information on risk and vulnerability of inter-dependent critical infrastructures (ICI), and starts from assessing the risk of major accidents in city infrastructures due to a variety of activities (storage, processing, and transportation). This segment of risk analysis is vast and involves usage of multiple results from many sectors of fundamental and applied sciences and engineering.

The next part of the analysis captures risks from continuous airborne, soil and waterborne emissions of poisonous substances, which gradually deteriorate human health and the environment. Transportation of dangerous goods and substances is another major risk aspect of day-to-day city operation. Paper provides a vulnerability assessment of critical facilities along potential routes. From this data, the “safest” route is identified along with a list of potential countermeasures to reduce the vulnerability of critical facilities along the routes.

An innovative approach to in-depth research of CI resilience is being developed by the authors, dubbed “the living experiment” in addressing such complex issues which extends from the use of GIS (e.g. Google Earth) technology to the new powerful capabilities offered by the gaming industry: an entire use of the SimCity modeling, simulation and visualization capabilities is demonstrated. A comparison between the two indicated technologies is offered.

The described above work serves to providing an analysis such that decision makers can make informed decisions on ways to reduce risk and vulnerability of city critical infrastructures, addressing practical problems for land use planning, while improving resilience of the city by addressing socio – technical aspects for the current and next generation infrastructures exposed to threats uncommon in the near past century.

#### References

1. Adrian V. Gheorghe, Marcelo Masera and P.F. Katina Infranomics: Sustainability, Engineering Design and Governance (Topics in Safety, Risk, Reliability and Quality) Publisher: Springer, 2013. 422 p.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **SITUATION AWARENESS: NEW PARADIGM FOR THE NEXT GENERATION INFRASTRUCTURES**

*Adrian Gheorghe*

Old Dominion University, Norfolk, VA, USA,  
adriangheorghe9145@gmail.com

*Sviatoslav Timashev*

Ural Federal University, Ekaterinburg

Science and Engineering Center «Reliability and Safety of Large Systems and  
Machines» of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Ekaterinburg,  
timashevs@gmail.com

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Critical infrastructure protection (CIP) and *situation awareness* (SA) currently are relevant topics in critical systems domain. The main concern in SA for Critical Infrastructures (CIs) has its roots in the particular structure of these, usually distributed, systems. CIs are interconnected and interdependent, and practically always include humans in the decision loop.

Most of the present approaches for SA in the field of CIP are based on using multisensory data fusion, and awareness is achieved by building a scenario of infrastructure predictive maintenance using data provided by CI sensors. In other words, instrumentally awareness is provided by diagnostics and monitoring systems, which become indispensable subsystems of every newly designed critical infrastructure system. The advent of the *Internet of Things* technology involves new ways of dealing and handling the emerging complexity of the interdependent CIs. The *Internet of People* networks will, in general, complicate the way how to address awareness strategies. To tackle these problems, new methods of regional risk management have to be developed and implemented in the frame work of regional governance.

Human interaction with the data fusion system and SA can be mainly regarded as the operator's internal model of the state of the environment. Based on this representation, and additional high - level information, operators can assess the situation (risk, severity, possible consequences on other CIs, alternative scenarios, etc.) and decide any necessary actions. Using semi-automated continuous monitoring systems minimizes the risk of human error in a fast changing scenario of CI failure.

On the other side, automatic SA approaches often fail in handling both high level information and low level sensor fusion including the ability of providing possible alternative scenarios and evolution of an event. Moreover, common approaches are not able, due also to the lack of standard interchanging protocols and data representation, to use models that encompass both holistic representations and fine decompositions, and include human behavior. This is a vast new area of research.

The paper presents a holistic risk assessment methodology that implies assessing interdependencies of several CIs (at least three) in the presence of multiple sensors and human agents, in order to provide a decision making tool to upgrade security of the system of systems network.



**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM**

*L. F. Boswell*

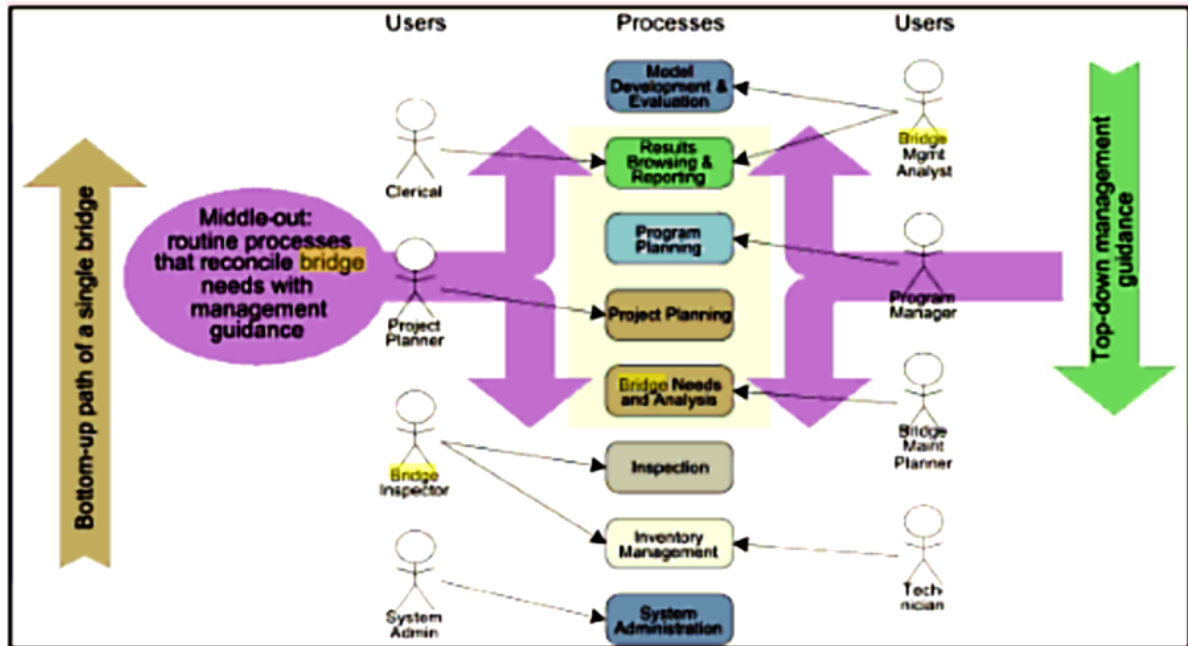
City University, London, UK  
L.F.Boswell@city.ac.uk

*G. Chiu*

Asian Institute of Technology, Bangkok

A bridge management system or BMS is a means for managing bridges throughout design, construction, operation and maintenance of the bridges. Bridge Management System is a tool that assists the Engineering Department in making informed decisions concerning the maintenance prioritization of their bridge system

Bridge Management System provides a simple means of prioritizing the bridges, using data supplied through Bridge Inspection Program reports, which uses strong engineering calculations and condition methods.



Key aspects considered in the BMS:

- National Bridge Inspection Standard;
- National Bridge Inventory Condition Ratings;
- National Bridge Inventory Appraisal Ratings;
- FHWA Recording and Coding Guide.

Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»

# TECHNICAL AND ECONOMICAL ASPECTS RELATED TO THE GEOTECHNICAL DESIGN OF RESILIENT LEVEE SYSTEMS

*Lo Presti D.C.F.*

University of Pisa, Pisa Italy,  
d.lopresti@ing.unipi.it

10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия

Typically, river embankments are earth – works that have been constructed several centuries ago, using poor materials and poor compaction methods. Their function is to protect the territory and the built environment against floods (i.e. events of limited duration, from few hours to few days). In order to improve their capability to resist the hydro – mechanical actions during floods, it appears necessary to:

- define an expeditious method for the “continuous” assessment/control of their physical/mechanical characterization;
- define a methodology for a “realistic” assessment of the hydraulic actions during floods;
- develop cost – effective methods to improve their capability to resist possible failure mechanisms.

Hydraulic actions are intended as “seepage forces” which mainly depend on the hydraulic boundary conditions. It is worthwhile to remember that between 1998 and 2009, Europe suffered over 213 major damaging floods, including the catastrophic floods along the Danube and Elbe rivers in summer 2002. Severe floods in 2005 further reinforced the need for concerted action. Between 1998 and 2009, floods in Europe have caused some 1126 deaths, the displacement of about half a million people and at least €52 billion in insured economic losses [1].

The design of resilient river embankments (levees) is essentially aimed at reducing flood risk. This is a multidisciplinary task that can be regarded from different point of views. What is described in this paper deals with the initiation of levee failures (breaches) and more specifically considers the mechanical characterization of existing or new embankments and possible retrofitting methods (i.e. geotechnical design of levee systems and remedial measures). On the other hand the following aspects/approaches also could be considered:

- the breach evolution (i.e. the impact on the territory that a failure can have) that is essentially conditioned by the hydraulic actions of the river stream;
- measures of flood risk mitigation like early warning systems, evacuation planning and flood control schemes.

In the case of existing embankments, it is necessary to identify screening methodologies, to plan the retrofitting interventions in consideration of the available budget and to design the retrofitting measures. In the case of new embankments, it would be necessary to define construction materials, compaction techniques and control – methodologies. As for the control it would be preferable to define performance criteria. In any case (old or new embankments), it is necessary to define the criteria for a cost–effective investigation taking into account the total length of the embankments (could be several km), the requested level of detail and analyses and the capability of indirect methods (CPTu, 2D geo–electric tomography) to infer/control the soil stratigraphy. A similar approach should also be kept in mind when defining the retrofitting measures.

An empirical approach has been proposed to calibrate CPTu results against the information gathered from boreholes [1]. Figure 1 and Table 1 respectively show the proposed correction of the “classification charts” and the beneficial effects of such a correction.

The poor knowledge of the physical/mechanical characteristics of existing river embankments is generally recognized (Cosanti, 2014; Cosanti et al. 2014; 2014 (a); Simonini et al. 2014). On the other hand, a detailed and accurate geotechnical campaign may be very costly and time consuming. (Cosanti et al. 2014 b) have developed a cost/effective and expeditious method to assess the degree of compaction of existing and new embankments and therefore to evaluate their mechanical resistance. The method is based on the in situ cone penetration test (CPTU - electric tip) and on appropriate calibration in the laboratory by means of a mini – cone. Figure 2 clearly shows the evident correlation between tip resistance and dry density of compacted soils, as obtained from such a calibration.

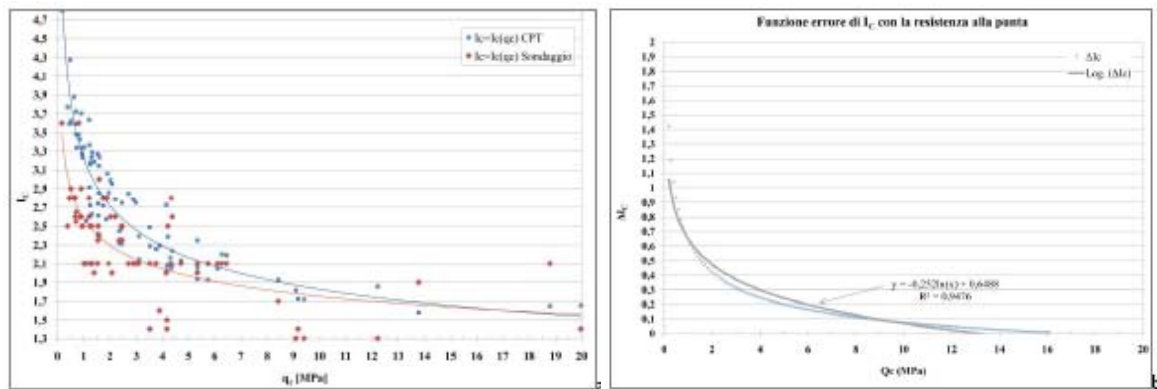


Figure 1.  $I_c$  from CPTu and Boreholes and  $\Delta I_c$  correction

Table 1

Effect of SBT correction

		SBTn da CPTu							SBTn da CPTu corretta				
		2	3	4	5	6			2	3	4	5	6
SBTn da sondaggio	2	100%	/	/	/	/	SBTn da sondaggio	2	100%	/	/	/	/
	3	/	/	/	/	/		3	/	/	/	/	/
	4	23%	42%	19%	12%	4%		4	/	19%	38%	27%	15%
	5	3%	25%	23%	40%	10%		5	/	/	18%	45%	38%
	6	/	/	7%	36%	57%		6	/	/	/	7%	93%

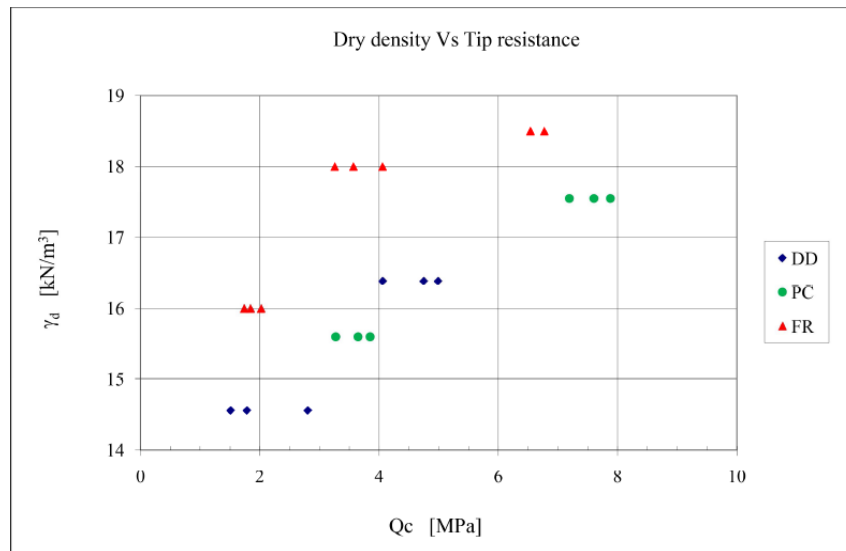


Figure 2. Dry density vs. tip resistance for three different materials

However, the repetition of the CPTU even every 200 m, along the embankments, does not guarantee a continuous assessment of the earth work characteristics. On the other hand geophysical testing has been explored as potential tool for obtaining an expeditious and continuous characterization of the embankments and foundation soil (Cosanti, 2014; Cosanti et al. 2014; 2014 (a);). Geo – electric tomography (2D) seems one of the more promising methods. Unfortunately accurate and reliable geo – electric tomography it is not applicable for routine works because appropriate calibration is still missing. The development of a reliable, expeditious and cost/effective methodology for continuous embankment characterization is necessary to evaluate the risk of embankment failure against various Ultimate Limit States (ULS): external erosion because overtopping, internal erosion (in a general sense) and embankment collapse under hydro – mechanical loading. Such prediction capability will help in reducing the flood risks with limited economical resources. Indeed, a reliable characterization of existing embankments will help in defining riskiest areas and therefore priorities in the refurbishment/retrofitting works. This is in agreement with the Directive 2007/60 issued in October 2007 by the European Parliament and the Council of the European Union. The directive not only recommends to consider the risk of failure but also the consequences of failures on the territory and plans to manage the disaster (prediction and early warning systems)

The main causes of embankment failures are:

- external erosion because of overtopping;
- internal erosion (piping, suffusion, etc.)
- mechanical collapse of the bank under gravity and hydraulic loading;
- uplift of the foundation soil on the country side (undrained condition);
- hydraulic failure of the foundation soil on the country side (drained condition).

As for the occurrence of embankment overtopping, the only possible countermeasure is a general increase of the bank – height, considering a given return period. This is very costly and time consuming. As an alternative it is very important to improve the embankment resistance to the external erosion. Indeed this countermeasure enable the embankment to resist external erosion and therefore to reduce the impact on the flooded area and the size of the flooded area. Post - disaster emergency can also be managed in an easier way in case the embankment survives to overtopping.

Hydraulic barriers or increase of the embankment horizontal size are the necessary countermeasures for facing the other ULS other than overtopping. Some case histories on possible countermeasures and related costs are also shown.

#### References

1. DIRECTIVE 2007/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks
2. Lo Presti D.C.F., Cosanti B. and Squeglia N. Uso delle carte di classificazione per la definizione del SBT da prove CPTu (terreni particolari). IARG Chieti/Pescara 2014
3. Cosanti, B. Guidelines for the geotechnical design upgrading and rehabilitation of river embankments. PhD Thesis, University of Pisa. 2014
4. Cosanti, B.; Lo Presti, D.C.F.; Squeglia, N. Adeguamento degli argini del fiume Serchio: aspetti geotecnici. XXV Convegno Nazionale di Geotecnica: La geotecnica nella difesa del territorio e delle infrastrutture dai rischi naturali. Baveno, (VB). 4-6 Giugno 2014. Edizioni AGI - Roma - ISBN 978 88 97517 03 0. 2014
5. Cosanti, B.; Squeglia, N.; Lo Presti, D.C.F. Analysis of existing levee systems: the Serchio river case. Rivista Italiana di Geotecnica. AGI. 2014a
6. Cosanti, B.; Lo Presti, D. CF.; Squeglia, N. An innovative method to evaluate degree of compaction of river embankments. XII IAEG Congress. Torino, 15–19 September 2014b
7. Simonini et al. Atti XXV Convegno Nazionale di Geotecnica "La geotecnica nella difesa del territorio e delle infrastrutture dalle calamità naturali", Baveno, 4-6 Giugno, Vol. 2, 823-830. ISBN 978-88-97517-05-4. Edizioni AGI, Roma. 2014

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **THE PROJECT OF THE FUTURE: MUSEUM OF SLAV'S CULTURE**

*Maltceva I.N.*

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin,  
Ekaterinburg,  
3724316@mail.ru

*Tavrina V.Y.*

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin,  
Ekaterinburg,  
vtavri@gmail.com

*Anfinogenova O.V.*

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin,  
Ekaterinburg,  
Olya\_anf@mail.ru

*Leshykov V.D.*

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin,  
Ekaterinburg,  
leshukov-vasily@yandex.ru



Nowadays architecture should be creative. Innovative building techniques plus new materials and ways of thinking give us almost unlimited potential to create unique building, under the name "Museum of Slav's Culture ".

We want to pay attention to the fact, that Modern Slavs nations have one ancestors and one culture. Nowadays there are a lot of exhibitions devoted to Slavs culture; nevertheless you will not find the architectural structure of this culture. That is why designing of new building of Slavs culture museum is timely and relevant. This project should be interesting for students, architects, and just people who are interested in architecture and Slavs culture.

Have you ever gone on the rainbow? Have you ever eaten the rainbow? Or may be have you ever been in rainbow? We can give you the perfect chance of doing this in the MoSC – Museum of Slav's Culture.

Architecture is also the style or manner of building in a particular country or period of history. In mythology of ancient Slavs, rainbow was represented celestial magic bridge thrown from heaven to earth. White water lily since ancient times was considered a symbol of beauty, purity and mercy. In nature, there are few water lilies, and we have left a piece of this beauty, remembering forever this plant. These are the symbols in Slavs culture which we include in our project.

In reviewing all the drawing and possible sites for the MoSC, the most logical location will be in Czech Republic. We choose this place because our university has permanent contact with Czech Republic. For the developing of this contact we take part in integrative project of two countries: Russia and Czech Republic, and wrote some articles for a Czech's magazine.

Nearly two thousand years ago the Roman architect Vitruvius listed three basic factors in architecture. There are convenience, strength and beauty. These three factors present in our project. For this purpose we create 3d model in engineering program solid works to see the size of building (fig. 1). To make a beautiful harmonic building, we calculated its measurements on golden section. The MoSC consist of two buildings, which harmoniously interconnected. The first building is a white ground-floor room, with big glasses around it. The second building is high technology construction in the shape of rainbow (fig. 2). As you know, the special consideration must be given to construction. The structure of MoSC is that differs from the majority of the tall buildings that use the center for lateral stability.

This structure adopts a diagrid exoskeleton, which creates a rigid structural system. The designer must have a good knowledge as of engineering, so of building materials. The building will be of reinforced concrete and steel. Considering different distribution of tension we strengthened framework by carbocrete.

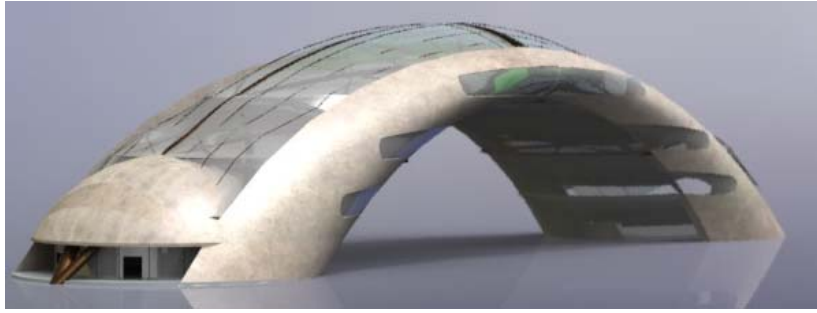


Fig. 1. 3-d Model



Fig. 2. Maquette of the MoSC

The floor of the basin would be constructed of high strength concrete with applied lateral bracing. Smooth curved glass form helps the flow of winds around the walls, reducing the pressure on the structure. The grid of the external facade is made up of three panels of thick glass double outward and inward laminated glass, to maximize the space of building.

One of the most important design concerns is ecology concept. Driven to create one of the world's energy-efficient building, we used the latest sustainable technology and engineering know-how into its design of the MoSC. Facade of a building will be done by means of photovoltaic cells, supplying electricity in accumulators of building. Its ventilation system uses heat collected from the double-skin façade as an energy source. Large scale solar panels will be installed on the building's facade to generate energy from sunlight. Surpluses of energy will provide oneself in storage batteries. For the sustainable green space over the building, circulated vertical and horizontal garden is introduced on each floor using plants, water and other. Collectively, these attributes will achieve significant energy savings and will reduce the building's dependency on the city's infrastructure.

And now, Lets dive into the atmosphere of the building (fig. 3).

First of all we should descent under the ground, go on the escalator and walk in the glass tunnel under the water. After that you rise on the escalator in administrative building of the MoSC. In this building you can see functional atmosphere and enjoy the beautiful panoramic views. Then you can go to the rainbow through the special bridge. Now you can go one of the 4 floors to see the exhibition. The MoSC has been designed as a cultural hub. It is a place for people of all ages.

Turn now to the internal space of the building. It will be done in a modern style with elements of Slav's traditions. The variety of public spaces within Building of slaves culture include: Art/Exhibition Halls, Conference Hall, public museum and library, visitors centre, classrooms for masters courses, academy hall, cafe in Russian style.

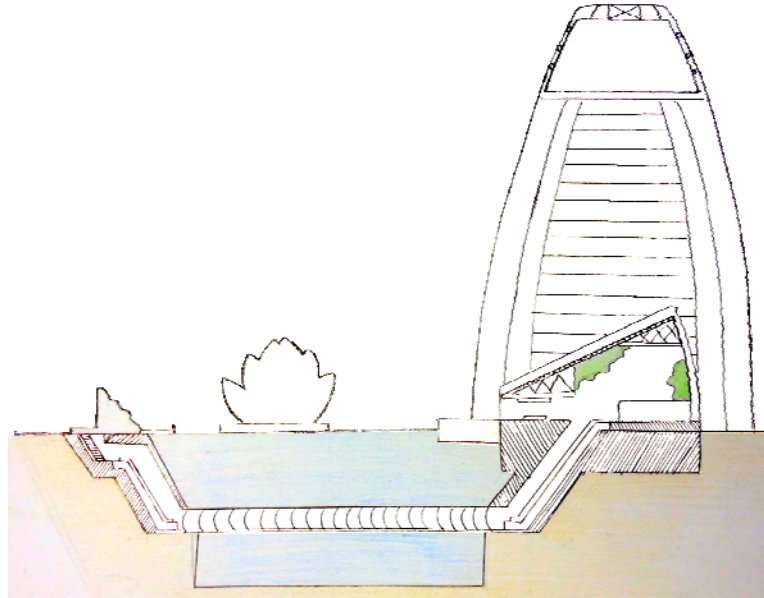


Fig. 3. Cross Section

Our building is enabling to present the widest diversity of exhibitions and events that feed the cultural vitality of the city. In the center of rainbow is a main entrance with indoor observation platforms, from which you can see a beautiful sight on the city. Also there are a lot of benches for the relax. The MOSK is interesting project, because it unusual and actual design, which can unite Slavs culture. The building's dynamic design integrates the Letenske park, artificial pond, and rainbow's building seamlessly as one, blurring the boundary between architecture and nature in a continuous, fluid landscape.

The building is a place for leisure, relaxation and the acquisition of knowledge - a new green oasis in Prague. This museum is compared a lot of new age technologies. The design of the MoSC is intended to minimize harm to the environment and it will extract energy from the natural and passive forces surrounding the building.

We would like to conclude by saying that the MoSC represent the continuum of time and space: it is modern and forward-looking and at the same time is a link to the past, mirroring both the rich history of Slav's culture and the future ambitions of union of this culture.

#### References

1. Michael D. Gibson. The Active Thermal Manifold Skin: Feasibility, Prototyping, and Performance Studies of a Wall System Integrating Distributed Solid State, Solar Powered Cooling and Heating Technology. Department of Architecture College of Architecture and Planning Ball State University Muncie, IN 47304
2. <http://issuu.com/>

3. <http://archi.ru/>
4. <http://www.architecturaldigest.com/>
5. <http://infoglaz.ru/?p=26963>
6. Видеоуроки по работе с САПР SolidWork. Учебный курс, 2009

# PRELIMINARY STUDY OF GRAPHENE-BASED INFILL MATERIAL IN REPAIRING CORRODED OIL AND GAS PIPELINES

*Nordin Yahaya*

Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, UTM Skudai,  
Johor 81310, Malaysia,  
nordiny@utm.my

*Lim Kar Sing*

Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, UTM Skudai,  
Johor 81310,  
Faculty of Civil Engineering and Earth Resources, Universiti Malaysia Pahang,  
Lebuhraya Tun  
Razak, Gambang, Kuantan, Pahang 26300, Malaysia,  
limkarsing@ump.edu.my

*Siti Nur Afifah Azraai*

Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, UTM Skudai,  
Johor 81310,  
snafifah2@live.utm.my

*Norhazilan Md Noor*

Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, UTM Skudai,  
Johor 81310,  
norhazilan@utm.my

## **Introduction**

Polymeric composites are being increasingly used as infill material in civil engineering applications for repairing critical infrastructures such as beam, column, pressure vessel, piping and pipelines. Pipelines are subjected to deterioration due to several factors, including third party damage, material and construction defects, natural forces and corrosion [1,2]. The deterioration of the steel pipelines is a common and serious problem, involving considerable cost and inconvenience to industry and to the public. Recently, an explosion of underground pipeline in Kaohsiung, Taiwan has killed at least 27 people and injured 286. Initial investigation showed that the cause of this incident was likely triggered by a leaky underground pipeline owned by a local chemical producer that operates a 4-inch propene pipeline [3]. It is a fact that corrosion and metal loss can cause failures in pipelines and their repair techniques is one of the prime interests of the researchers all over the world [4, 5].

In repairing damaged pipes, combination of composite wrapping layer and infill material is a preferable technique used in oil and gas industry [6, 7]. Recently, there is tendency in reducing the usage of composite wrapping layer due to several reasons. These reasons include composite wrapping layer is more expensive as compared to infill material. Besides, some damaged pipes are located in congested area such as piping on offshore platform, piping of boiler tank and underground pipelines that has limited working area for the wrapping process. This makes the replacement of the damaged pipes as the only possible solution to maintain its service life. Therefore, researchers are looking for the potential infill material to gradually reduce the usage of composite wrapping layer, hence the thickness. Ultimately, its hope that one day the repair can be done without composite wrapping. One of the possible ways in achieving this goal is by increasing the contribution and performance of infill material as part of the repair system. High performance infill material may increase the repair efficiency and serves as second protection layer if failure of composite layer occurs. Hence, this paper has taken initial step to investigate the mechanical properties (compressive and tensile) of graphene-based epoxy grout to be used as infill material in composite repair system of pipeline.

## **Material and Methods**

The epoxy grout used in this study is a commercial three-part silica filler reinforced epoxy grout which consists of modified epoxy resin, hardener and fine silica sand. To achieve the research aim, 2% of graphene nanoplatelet by weight ratio was used as filler to enhance the performance of epoxy grout. The preparation of epoxy grouts was carried out as per manufacturer's guideline. First, epoxy resin, hardener and silica filler were weighed based on ratio as recommended in manufacturer's datasheet. An electrical mixer was used to thoroughly mix the graphene nanoplatelet with

hardener in high speed to disperse the graphene particle in hardener. It was then followed by adding epoxy resin and continues the mixing process until a smooth consistency paste can be obtained. Lastly, silica filler was added and all parts were mixed until a homogeneous grout can be produced. Specially designed steel moulds were used in casting the compressive and tensile test samples. The samples were cured in room temperature for 24-hours prior to the testing. All the tests were carried out using INSTRON 25KN universal testing machine. Table 1 summarizes the detail of tests conducted on the prepared specimens.

Table 1

**Summary of mechanical testing detail**

Test	Standards	N	Dimensions (mm)	Geometry	Loading rate (mm/min)
Compressive	ASTM: D695	5	12.7 x 12.7 x 50.8	Prismatic	1.3
Tensile	ASTM: D638	5	13.0 x 3.2	Dumbbell	5

### Results and Discussion

The results of compression and tensile test for graphene-based and standard grout are summarized in Table 2. The values are the average of maximum strength prior to failure of the samples. The compressive strength of this grout is nearly 90MPa which comparable to ultra-high strength concrete ( $> 80\text{MPa}$ ) while the tensile of the tested grout was found to be 15MPa. Moreover, it can be seen from the table that the compressive and tensile modulus of the grout are 14GPa and 17GPa respectively.

Table 2

**Summary of mechanical properties of graphene-based grout**

Grout	Compressive Strength (MPa)	Compressive Modulus (GPa)	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (GPa)
Graphene-based	$88.41 \pm 1.58$	$14.10 \pm 1.54$	$15.18 \pm 0.32$	$17.35 \pm 1.67$
Standard	$87.52 \pm 1.95$	$18.93 \pm 4.78$	$18.90 \pm 4.62$	$38.79 \pm 10.67$

Figure 1 shows the failure mechanism of compression and tensile sample under uniaxial loading testing. During compression test, the sample exhibits noticeable deformation prior to failure. Initial cracks were observed at top and bottom part of the sample where the maximum stress occurred. It was then followed by gradual reduction in stress prior to failure. On the other hand, the failure of tensile sample occurred without any noticeable deformation. The samples split into two parts as shown in Figure 1. It exhibits brittle behavior when comparing to steel material. By comparing graphene-based and standard grout, there is no significant increase of strength. Nevertheless, the addition of graphene has produced a more consistent results according to a smaller standard deviation of strength (refer Table 2). This shows that the performance of graphene-based grout is reliably predictable. This is important since repair design of damaged pipeline is of deterministic nature. The standard grout also exhibits sudden rupture as compared to graphene-based grout.





Figure 1. Failure pattern of compression and tensile sample

Previous study done by Mendis [8] suggested the typical properties of epoxy grouts used for repair and rehabilitate damaged structures. Compressive and tensile strength greater than 40MPa and 14MPa was reported suitable for repairing concrete crack. The author also suggests that for structural rehabilitation, compressive and tensile strength is suggested to be more than 80MPa and 28MPa, respectively. In composite repair of externally corroded pipeline, the infill material serves as medium to transfer the stresses on internal surface of pipeline generated by internal pressure (without sharing the load) requires high compressive strength. Therefore, the tested can serve in high compressive condition and has the potential in reducing the wrapping thickness.

#### References

1. Noor, M. N. Yahaya, N., and Othman, S.R. The Effect of Extreme Corrosion Defect on Pipeline Remaining Life-time. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 2008. 20 (1), 47-577.
2. Shamsuddoha, M., Islam, M.M., Aravinthan, T., Manalo, A., and Lau, K.T. Characterization of mechanical and thermal properties of epoxy grouts for composite repair of steel pipelines. *Material and Design*, 2013a. 52,315-327.
3. Hsu, J. W., and Liu, F. Taiwan Gas Blasts Likely Caused By Faulty Pipe. *The Wall Street Journal*, 2014. Accessed on 11 September 2014, <http://online.wsj.com/articles/taiwan-gas-blasts-likely-caused-by-faulty-pipe-1406964902>.
4. Shamsuddoha, M., Islam, M.M., Aravinthan, T., Manalo, A., and Lau, K.T. Effectiveness of Using Fibre-Reinforced Polymer Composites for Underwater Steel Pipeline Repairs. *Composite Structure*, 2013b. 100, 40-54.
5. Azraai, S.N.A., Lim, K.S., Yahaya, N., and Noor, M. N. Infill Materials of Epoxy Grout for Pipeline Rehabilitation and Repair. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 2015. 27 (1), 162-167.
6. Gibson, A.G. *The Cost Effective Use of Fibre Reinforced Composites Offshore*. Norwich: University of Newcastle upon Tyne, HSE Books, 2003.
7. Seica, V.M. and Packer, A.J. FRP Materials for the Rehabilitation of Tubular Steel Structures, for Underwater Applications. *Composite. Structure*, 2007. 80, 440-450.
8. Mendis, P. Commercial Applications and Property Requirements for Epoxies in Construction, SP. *ACI Special*, 1985. 127-40.



**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **THE FACTORS WHICH INFLUENCE THE CHOICE OF THE PLACE OF LIVING**

*Noskov A.S.*

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin,  
Ekaterinburg,  
referetsf@yandex.ru

*Belyakov V.A.*

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin,  
Ekaterinburg,  
9222283482@mail.ru

*Ushakov D.E.*

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin,  
Ekaterinburg,

Satisfaction with the external environment is a key factor for the person to make choice of the place of living. In the last few decades in our country there is the population outflow from the "small" cities and its accumulation in the "the largest" cities. In a conventional vocabulary "largest" cities (with the population greater than 1 million) are referred to as big cities. From the point of urban development, "big" are settlements with a population of 100 to 250 thousand people, and the cities of one million people are called "the largest" [1].

The problem is that due to the outflow of labor resources from big cities the development of their territory slows down, because the people who went to the largest cities are engaged in maintenance and development of the last mentioned in the future [5].

In "the largest" cities, this process causes problems of overpopulation, and in small, medium and big cities it causes the shortage of skilled workers, both in the field of intellectual and physical labor [3].

In this article we study the influence of the external environment on the urban residents of the cities on example of two settlements: Ekaterinburg - a representative of "the largest" city and Berezniki, which is related to the group of "big" cities considering its urban development. Problems of "small" and "medium-sized" cities basically are similar to the problem of "big" city, but they are more acute and serious to them.

Let us consider the parameters of the external environment, which may be possible reasons for the population departure from the "big" cities:

1) Telecommunications.

Internet development takes place in parallel in the "big" and "the largest" cities. The authors have no significant reason to believe that this parameter has an impact on the choice of residence.

2) Greater number of vacancies.

"Big City is a place of great opportunities." Here, as a rule, this metaphor is valid. The key word is an "opportunity." In absolute terms, the number of vacancies and jobs in "the largest" city, of course, is greater. But in this case we should consider the number of available positions per one inhabitant. This question seems specific according to certain parameters [1]. In Russia, there are cities that specialize in a particular activity, the so-called monotowns. The existence of such single-industry cities is typical not only for Russia. In such towns the choice of profession is quite limited. In turn "the largest" city offers a greater range of popular production and business occupations, but the number of jobs per capita does not exceed this amount in the "big" city.

In quantitative terms, the number of vacancies in Ekaterinburg is greater, but the number of vacancies is approximately the same per capita. If in Berezniki this figure was the same than in Ekaterinburg, the number of jobs would have been greater by 310 positions.

**Conclusion**

The number of vacancies per capita is approximately the same in “the largest” city and in the “big” city. The important factor is migration of the working age population for seasonal earnings.

3) The level of provided cultural facilities and social amenities.

3.1) Stores. In the “big” cities fashion brands of clothing or expensive items cannot be easily found. The reason is the high cost of these brands, the low wages level of the bulk of the population and, as a result, small demand for this type of goods.

In the “big” cities, in the presence of the Internet and postal delivery, the active part of the population has access to all the same things as the inhabitants of “the largest” cities.

3.2) Theaters, cinemas, museums, exhibition centers.

It should be understood that the level of entertainment in “the largest” city is much higher. People occasionally travel to “the largest” city in order to go to the opera; watch a movie in IMAX format, etc.

From the evaluation it is clear that the presence of elite art institutions in the near located city Perm is quite sufficient to the residents of Berezniki to visit them. In order to meet the population demand for mass art there is need to create a large entertainment center with 6 large cinema halls, it would level up the specific quantity of cinemas in Yekaterinburg and Berezniki per capita.

According to Internet media during the last period of time there is a temporary decline in attendance of cultural, educational and leisure public institutions due to the uncertainty of the economic situation in the country.

4) Facilities for leisure activities for children and teenagers (sports clubs and leisure clubs).

In Berezniki according to the website of the Committee for physical culture and sport" there are about 60 sections of sports orientation. Organizations of additional education is not sporting focus, according to website youth, the city has about 10, with a large number of sections.

5) Obtaining a higher education.

Higher education is a necessity. Not all cities have Universities, or the number of occupations is limited. In this regard, high school graduates need to go to the “largest” city for education. Thus, the need for tertiary education leads to an outflow from the city of promising young people. The largest city is in the latter case, a kind of “funnel” that sucks personnel potential of “small” and “large” cities, resulting in a problem of shortage of qualified personnel. The conclusion is that the higher professional education is an important factor influencing the decline of socially active population of “small” and “large” cities.

For this reason Ministry of Education and Science of the Russian Federation should review the policy of closing the branches of universities in monotowns and other cities. Even branches of

the largest universities such as UrFU, USUE-SINE are being closed. Currently the branch of higher education institute USUE-SINE is being closed in Berezniki [2]. Students are invited to continue training in the headquarters university. It is unknown how many students who left for education will come back to the city for professional activity, and the most importantly, in the future, young people who want to learn a profession taught at this branch will be forced to leave the native city.

Closure of universities branches in monotowns because of their inefficiency creates the problem of skilled specialists' shortage in these cities.

#### 6) Salary.

For young people that begin the world, the starting salary is highly important. At the same time in Ekaterinburg graduate of construction faculty of university can get a job of engineer of the third category (the initial stage of career) with a salary amount of 25,000 rubles.

#### 7) Accommodation.

This issue can be seen in different points of view.

7.1) Affordability. In "the largest" city earnings are higher, but the price for one square meter is also more expensive. An average apartment in Ekaterinburg is 3-4 times more expensive than that in Berezniki [4]. In the latter case, accommodation is more available, but, as it was mentioned above, the average income in Berezniki is lower. In this regard, the opportunity of purchasing housing is approximately the same for "the big" and "the largest" cities residents.

7.2) Housing availability. Upgrading of the housing stock is very important. Construction of housing is associated with development and progress.

Conclusion: the slow pace of updating the housing stock, create a feeling from the lack of development of the city. Hence, people have the desire of resettlement in the city, where the infrastructure development and the emergence of new residential areas. People go to the "the largest" city, because it has development (i.e. housing construction), but it continues to expand construction rates, as there is inflow of people who need to be provided with accommodation.

### **Conclusion**

Considering the causes of migration to "the largest" cities, yet necessary investments in the development of "small" and "large" cities to reduce this outflow are to be estimated. Undoubtedly the mere fact of people leaving the sphere of business activity of "the small" and "the big" cities causes economic and demographic damage which is much greater than the volume of state funds invested for their development.

It is important to understand that in case of the complete territory degradation its re-development will cost colossal investments for the regional authorities and for the Government of the Russian Federation.

At the federal government level this problem is known for a long time. The ways to solve it are being searched. In 1996, an alliance of small towns of Russia was founded, as well as a resolution No. 762 "On approval of the complex Federal program for development of small and medium-sized cities of the Russian Federation in terms of economic reforms" was adopted.

Currently the concept of federal special-purpose program "Social and Economic Development of Small Towns of the Russian Federation for period 2015-2020" is approved by the Russian Federation Government. The program provides complex development of small towns at the city level.

In the authors' opinion, in order to prevent the population outflow from "the small" and "the big" cities it is necessary to create favorable conditions for life and development. Execution of this task requires programs for strategic development not for a single city, but programs for strategic development of the region as a whole.

#### References

1. Development towns of Russia: monograph / call. authors under the editorship of I. N. Ilina. Tartu: University, 2013. 168 p.
2. Minus one University // New city. [Electronic resource]. - Mode of access PA: <http://www.gorodberez.ru/gazeta/minus-odin-vuz/>
3. Housing conditions of the population / Territorial body of Federal state statistics service of the Sverdlovsk region. [Electronic re-SORS]. - Access mode: [http://sverdl.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/sverdl/ru/statistics/housing/](http://sverdl.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/sverdl/ru/statistics/housing/)
4. In the Perm region starts a program of resettlement of people from the danger zone // Ministry of construction. [Electronic resource]. - Access mode: [http://www.minstroyrf.ru/press/v-permskom-krae-startuet-programma-pereseleniya-lyudey-iz-opasnoy-zony/?sphrase\\_id=48008](http://www.minstroyrf.ru/press/v-permskom-krae-startuet-programma-pereseleniya-lyudey-iz-opasnoy-zony/?sphrase_id=48008)
5. Garner, J. S. The model company town. Massachusetts: The University of Massachusetts Press, 1982.

# RELIABILITY OF ARCTIC PIPELINES TAKING INTO ACCOUNT THE GLOBAL CHANGE OF TEMPERATURES: WIND LOADS CASE STUDY

*Opeyemi D.A.*

Institute for Risk and Uncertainty, University of Liverpool, Liverpool, UK,  
David.Opeyemi@liverpool.ac.uk

*Patelli E.*

Institute for Risk and Uncertainty, University of Liverpool, Liverpool, UK,  
Edoardo.patelli@liverpool.ac.uk

*Beer M.*

Institute for Risk and Uncertainty, University of Liverpool, Liverpool, UK,  
M.beer@liverpool.ac.uk

*Timashev S.A.*

Ural Federal University, Ekaterinburg

Science and Engineering Center «Reliability and Safety of Large Systems and Machines» of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Ekaterinburg,  
timashevs@gmail.com

This paper describes reliability analysis of arctic pipelines taking into account the global change of temperatures using wind loads as case study. Wind speed is usually caused by air moving from high pressure to low pressure, due to changes in temperature; and this affects weather forecasting, arctic pipelines, aircraft and maritime operations, construction projects, etc. [1]. Surface wind speeds are strongly influenced by weather conditions and surrounding topography. Several studies on global warming impacts indicate that rising temperatures might decrease surface wind speed [2]. It is mandatory to consider and analyse the static and dynamic effects of high winds on above ground pipelines, because high winds can be very dangerous and destructive. Wind loads are randomly applied dynamic loads; the velocity of wind varies at various distances from ground, and increases with structural heights. Wind speed is most uncertain (i.e. unpredictable) when it is closer to the ground, this makes accurate wind load calculations difficult.

Some of the pipelines widely used in engineering structures for the transportation of fluids (such as oil and gas) from one place to another are placed above ground. These pipelines are required to resist a combination of loads such as dead load (weight of the pipe with insulation and fluid being pumped), operating pressure, wind load, and kinematic influence in the form of uneven vertical displacement of adjacent/closest vertical supports of the pipeline due to the frost upheaval/melting of the permafrost soil in case of an above ground arctic pipelines [3].

Therefore, for reliability assessment and construction of the permissible region in the load space for above ground arctic oil pipeline with surface corrosion type defects, subjected to a combination (simultaneous action) of loads. The dead load of the pipeline structure and the transported fluid operating pressure (OP) could be considered as deterministic values. The influence of the extra stresses due to development of corrosion defects and kinematic vertical settlement of pipe supports considered as random variables. While the wind loads which depends on climate change is considered as very uncertain with imprecise values.

Extreme value distributions are widely used in reliability analysis to model a variety of phenomena such as extreme winds, extremes in a changing climate, failures under stress, temperature extremes, flood data, etc. [4, 5], this is employed to analyze wind speed events of a 25 year meteorological data which reflects climate change in an arctic region. Set models of wind loads were created, by analyzing the distribution of the maxima annual values of the wind speed. The maxima measured wind speeds over a given period of 25 years were taken (Fig. 1), i.e. 25 data points were taken over 25 years. Comparison is made on probability plots (Normal, Lognormal, Exponential, Weibull, Rayleigh and Extreme value distributions). Likewise, comparison on Cumulative Density Functions (CDF) and other error measures for goodness of fit; this is to allow assessment of the degree to which a set of data fits a particular distribution. A lower and upper probability for the wind speed is obtained by constructing a p-box to characterize uncertainty in wind parameter

(Fig. 2); this is to cater for incertitude and variability. Hence, the wind pressure is calculated using Equation 1, and the design wind load from Equation 2. In this contribution, the turbulence intensity, gust-effect factor, and integral length scale of turbulence are modeled [6] using Equations 3, 4 and 5.

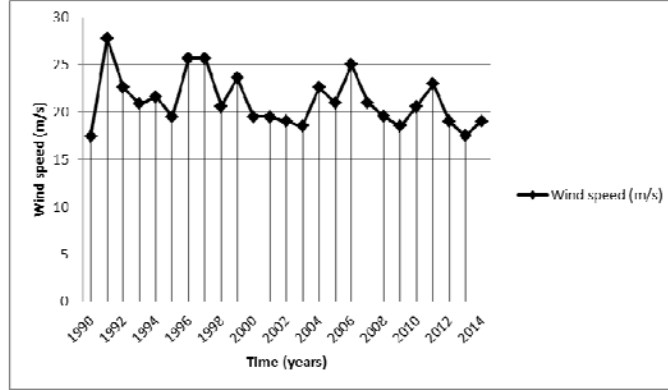


Figure 1: Maximum measured wind speed over a period of 25 years

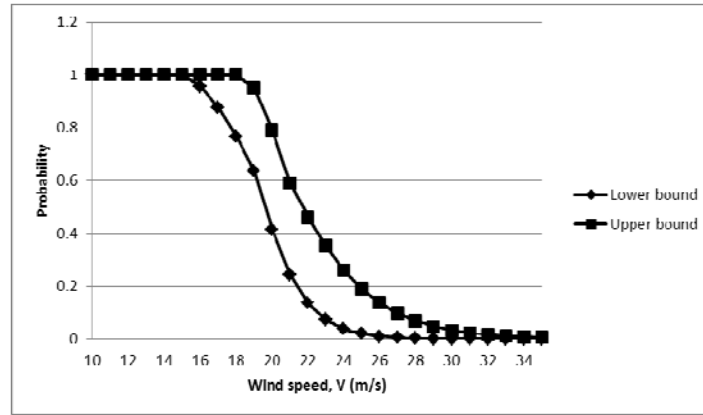


Figure 2: Probability box for wind speed

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2 I \quad (1)$$

$$F = q_z G C_f A_f \quad (2)$$

$$I_{u'} T = E \left[ \frac{\sigma_{u',T}}{\bar{U}_T(t)} \right] \quad (3)$$

$$G(t_1) = \max \left[ \frac{\bar{U}_{t_1}(t)}{\bar{U}_{3600}(t)} \right] \quad (4)$$

$$L_{u'} = \bar{U}(t) \int_0^\infty \frac{R_{u'}(\tau)}{\sigma_{u'}^2} d\tau = \frac{\bar{U}(t)}{4\sigma_{u'}^2} S_{u'}(0) \quad (5)$$

where  $q_z$  = velocity pressure evaluated at height  $z$ ;  $G$  = gust-effect factor;  $C_f$  = force coefficients;



$A_f$  = projected area normal to the wind;  $K_z$  = velocity pressure exposure coefficient;  $K_{zt}$  = topographic factor;  $K_d$  = wind directional factor;  $V$  = wind speed (m/s);  $I$  = importance factor.  $\bar{U}(t)$  = the temporal trend of wind speed;  $t_1 \leq 3600$  s;  $R_u(\tau)$  = the autocorrelation function of  $u'(t)$ , and  $S_u$  = its Fourier transform;  $E[\ ]$  = the expected value over the time interval  $T$ ;  $\sigma_u, T$  represents the standard deviation of the fluctuating wind speed over the time interval  $T$ .

#### References

1. Michael Hogan. Abiotic factor Encyclopedia of Earth. eds Emily Monosson and C. Cleveland. National Council for Science and the Environment. Washington DC., 2010
2. Diamond K.E. Global Warming's Impact on Wind Speeds: Long-Term Risks for Wind Farms May Impact Guarantees and Wind Derivatives Tied to Wind Energy Production: 40th Annual Conference on Environmental Law, Salt Lake City, UT, 2011
3. Timashev S.A. Reliability of large mechanical systems (in Russian). Moscow: Nauka, 1982
4. Beirlant J; Goegebeur Y.; Segers J.; Teugels J. Statistics of extremes. Theory and Applications: John Wiley & Sons Ltd., 2005
5. Gumbel, E.J. 1958. Statistics of extremes, Dover Publication, New York 2004.
6. Kareem A. Analysis and modeling of wind effects: numerical techniques. In: Larson, Lindsey, Livesey (Eds.), Wind Engineering into the 21st Century. Balkema, Rotterdam., 1999

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **STATISTICAL CHARACTERISTICS OF DENT DEFECT SIZES IN GAS PIPELINES**

*Zorin A.A.*

Ural Federal University, Ekaterinburg  
andreyzorin1989@gmail.com

*Timashev S.A.*

Ural Federal University, Ekaterinburg  
Science and Engineering Center «Reliability and Safety of Large Systems and  
Machines» of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Ekaterinburg,  
timashevs@gmail.com

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Ensuring reliability and uninterrupted gas supply to the consumer are priorities for Russian gas transportation system and currently are not fully solved. At the design stage the pipeline reliability is ensured by right choices of its geometric parameters, steel brand and comprehensive corrosion protection.

Due to the inevitable presence of defects during operation (originated during construction and installation, or formed during operation or repair, and identified by inspection of the pipeline) measures have to be taken to ensure and maintain the desired level of pipeline reliability. For these purposes it is generally necessary to carry out calculations of the static and dynamic strength of pipeline sections with defects, followed by reliability analysis. The vast majority of existing methods use deterministic approach for assessing gas pipelines strength and reliability. The main reason for this is lack of sufficient, representative volumes of initial data.

In this paper a statistical analysis of the size of dents (one of the most common defects in pipelines) revealed by in-line inspection (ILI) of gas pipelines 5720 km long is described. The pipelines diameters are from 219 mm to 1420 mm. The number of identified dents in pipes of various diameters is shown in Figure 1. According to the figure, the highest number of dents found in gas pipelines with diameters 530 mm and 1020 mm. This is due, presumably, to the fact that these diameters are used most frequently and, consequently, the volume of the ILI for the same diameters of the pipelines is maximal (Table 1).

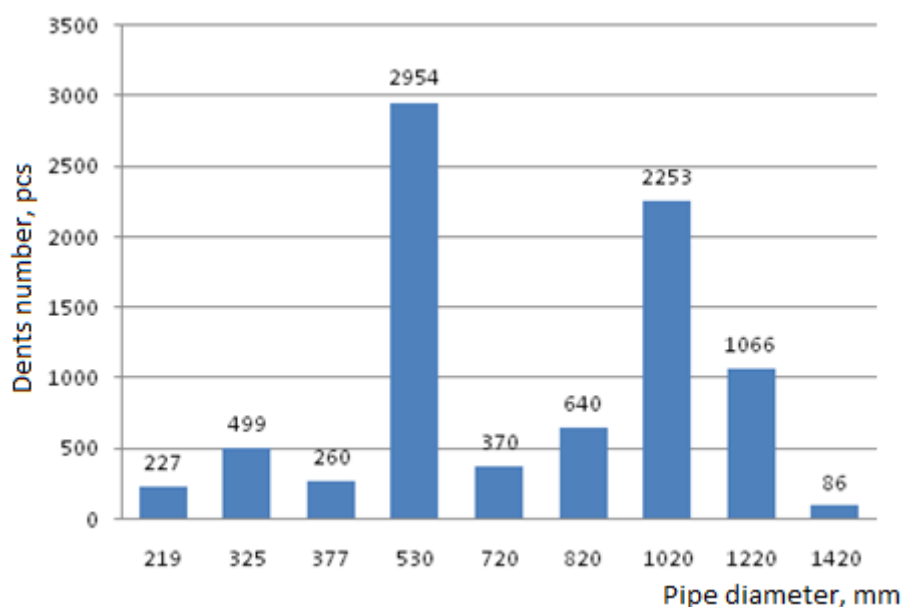


Figure 1. Number of detected dents in pipelines of different diameters

To determine the statistical characteristics of dents identified during the ILI on the same type of gas pipelines define the number of dents on each a combination "diameter-wall thickness" (Table 2). It shows that a number of combinations "diameter-wall thickness" con-

tains very small number of dents. This is primarily due to the low frequency of usage of this type of pipes, mainly where the pipeline intersect with roads and railways. In these areas pipes with increased wall thickness are used to enhance their reliability. Because of this specificity combinations of "diameter - wall thickness", which revealed less than 10 dents, further were not considered.

Table 1

**ILI volume and number of detected dents on pipelines of different diameters**

№	Diameter, mm	Length of inspected pipelines, km	Number of dents, pcs	Specific number of dents per 1 km, pcs / km
1	219	31	227	7,32
3	325	88.6	499	5,63
4	377	61	260	4,26
5	500	1088.76	2954	2,71
6	700	428.6	370	0,86
7	820	140	640	4,57
8	1000	2209	2253	1,02
9	1200	812.5	1066	1,31
10	1400	811.5	86	0,11
Total		5670.96	8355	

Table 2

**Distribution of the number of detected dents on pipelines with different combination "diameter - wall thickness"**

№	Wall thickness, mm	Pipe diameter, mm									Total number of dents
		219	325	377	530	720	820	1020	1220	1420	
1	5	227	3	-	-	-	-	-	-	-	230
2	6	-	328	119	-	25	-	-	-	-	472
3	7	-	2	-	1159	-	-	-	-	-	1161
4	7.5	-	-	-	732	4	-	-	-	-	736
5	8	-	133	5	978	304	-	-	-	-	1420
6	9	-	-	52	43	23	403	253	-	-	774
7	10	-	32	-	38	11	135	39	71	-	326
8	10.5	-	-	-	-	-	-	313	-	-	313
9	10.6	-	-	-	-	-	-	10	-	-	10
10	11	-	1	-	-	1	96	794	1	-	893
11	11.2	-	-	-	-	-	-	189	-	-	189
12	11.5	-	-	-	-	-	-	64	-	-	64
13	12	-	-	82	4	2	6	575	792	-	1461
14	12.9	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
15	13.5	-	-	-	-	-	-	5	-	-	5
16	14	-	-	2	-	-	-	7	-	-	9
17	14.5	-	-	-	-	-	-	-	49	-	49
18	15	-	-	-	-	-	-	-	151	-	151
19	15.4	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2
20	16.5	-	-	-	-	-	-	-	-	80	80
21	18.7	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5
22	19.5	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Total		227	499	260	2954	370	640	2253	1066	86	8355

Histograms of the basic geometrical parameters of dents with a combination of "diameter - wall thickness" 530x7 mm are shown in Figures 2-4. Smoothing of the histogram by

the  $\chi^2$  --method shows that with a confidence level of 0.99, they obey the two-parameter Weibull law. It also turned out that the size of dents on all other gas pipelines from Table 2 also obey this law.

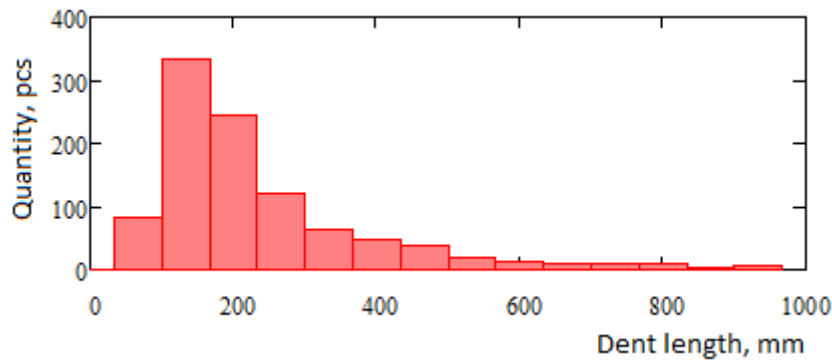


Figure 2. Histogram of dents lengths in pipes whose "length - wall thickness" is 530x7 mm

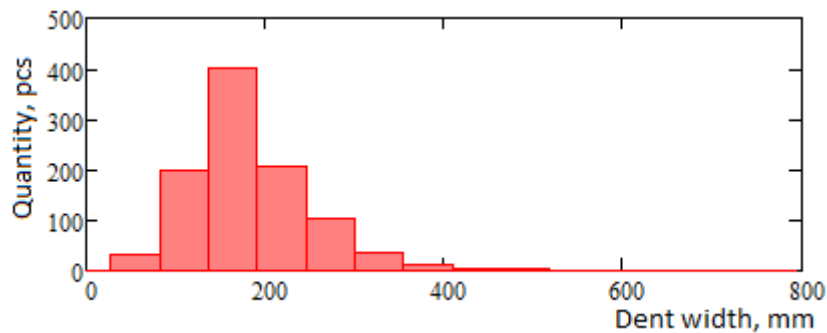


Figure 3. Histogram of dents widths in pipes whose "length - wall thickness" is 530x7 mm

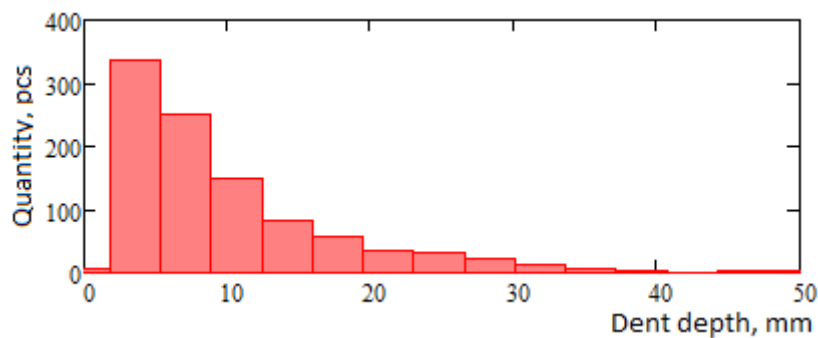


Figure 4. Histogram of dents depths in pipes whose "length - wall thickness" is 530x7 mm

According to the results of statistical analysis of dents sizes, revealed during ILI of pipelines with various diameters, their main parameters are described by the Weibull distribution. The analysis was performed using a software algorithm designed by the first author. The software algorithm selects out of the total data set information about found dents, separately for each combination of "diameter-wall thickness". It calculates basic statistical parameters of dents samples, determines whether the sample is well described by the Weibull distribution and stores the results in the analysis file (See Table 3).

This data is recommended for practical use when evaluating residual life, probability of failure, time of next diagnostics, time and the amount of preventive maintenance.

Table 3

Statistical characteristics of the basic geometrical parameters of dents for different combinations of gas pipelines "diameter - wall thickness"

General data			Results for the length of dents						Results for the width of the dents						Results for the depth of the dent					
Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Sample size, pcs	Type of distribution	The distribution parameter $k$	The distribution parameter, $\lambda$	Mathematical expectation	Variance	Standard deviation	Type of distribution	The distribution parameter $k$	The distribution parameter, $\lambda$	Mathematical expectation	Variance	Standard deviation	Type of distribution	The distribution parameter $k$	The distribution parameter, $\lambda$	Mathematical expectation	Variance	Standard deviation
219	5.0	227	W(k, $\lambda$ )	1.11	168.69	162.39	21540	146.78	W(k, $\lambda$ )	1.93	112.56	99.84	2908	53.92	W(k, $\lambda$ )	1.45	3.40	3.08	4.65	2.16
325	6.0	328	W(k, $\lambda$ )	2.12	238.36	211.10	11010	104.93	W(k, $\lambda$ )	3.20	178.68	160.04	3008	54.84	W(k, $\lambda$ )	2.00	9.72	8.62	20.37	4.51
325	8.0	133	W(k, $\lambda$ )	1.69	233.43	208.40	16160	127.14	W(k, $\lambda$ )	4.92	182.32	167.23	1513	38.90	W(k, $\lambda$ )	2.38	8.14	7.21	10.38	3.22
325	10.0	32	-	3.40	278.78	250.47	6606	81.28	-	4.65	153.08	139.97	1172	34.24	-	2.77	9.48	8.44	10.87	3.30
377	6.0	119	W(k, $\lambda$ )	2.41	188.79	167.37	5478	74.02	W(k, $\lambda$ )	3.31	181.12	162.50	2919	54.03	W(k, $\lambda$ )	2.39	7.08	6.28	7.80	2.79
377	9.0	52	W(k, $\lambda$ )	2.30	275.95	244.46	12720	112.78	W(k, $\lambda$ )	4.37	180.65	164.58	1815	42.60	W(k, $\lambda$ )	1.98	12.41	11.00	33.65	5.80
377	12.0	82	W(k, $\lambda$ )	3.62	222.24	200.32	3783	61.50	W(k, $\lambda$ )	4.37	195.36	177.98	2123	46.08	W(k, $\lambda$ )	2.67	9.85	8.76	12.48	3.53
530	7.0	1159	W(k, $\lambda$ )	1.77	302.78	269.52	24820	157.55	W(k, $\lambda$ )	3.25	241.20	216.20	5349	73.14	W(k, $\lambda$ )	1.56	13.20	11.87	60.33	7.77
530	7.5	732	W(k, $\lambda$ )	1.99	217.13	192.44	10180	100.90	W(k, $\lambda$ )	2.73	201.31	179.08	5029	70.91	W(k, $\lambda$ )	1.77	11.09	9.87	33.17	5.76
530	8.0	978	W(k, $\lambda$ )	1.82	295.69	262.82	22400	149.67	W(k, $\lambda$ )	2.76	220.50	196.24	5907	76.86	W(k, $\lambda$ )	1.41	11.84	10.77	59.73	7.73
530	9.0	43	-	3.89	223.38	202.14	3387	58.20	-	3.94	215.77	195.40	3093	55.61	-	2.34	10.31	9.14	17.19	4.15
530	10.0	38	-	5.73	224.24	207.50	1760	41.95	-	4.04	189.77	172.11	2291	47.87	-	2.81	9.66	8.61	10.98	3.31
720	6.0	25	W(k, $\lambda$ )	1.95	287.62	255.04	18620	136.47	W(k, $\lambda$ )	1.30	324.43	299.76	54280	232.98	W(k, $\lambda$ )	2.10	10.79	9.56	22.89	4.78
720	8.0	304	W(k, $\lambda$ )	2.07	309.74	274.36	19270	138.82	W(k, $\lambda$ )	2.39	269.54	238.92	11350	106.55	W(k, $\lambda$ )	1.80	10.56	9.39	29.01	5.39
720	9.0	23	W(k, $\lambda$ )	2.11	373.39	330.70	27150	164.78	W(k, $\lambda$ )	2.25	317.64	281.35	17490	132.24	W(k, $\lambda$ )	1.55	13.68	12.30	65.78	8.11
720	10.0	11	W(k, $\lambda$ )	1.68	409.63	365.73	49880	223.34	W(k, $\lambda$ )	3.05	320.35	286.27	10510	102.53	W(k, $\lambda$ )	1.13	16.51	15.82	198.33	14.08
820	9.0	403	W(k, $\lambda$ )	2.88	392.28	349.68	17410	131.94	W(k, $\lambda$ )	3.12	295.19	264.07	8582	92.64	W(k, $\lambda$ )	1.81	21.09	18.75	114.52	10.70
820	10.0	135	W(k, $\lambda$ )	3.15	468.87	419.62	21340	146.09	W(k, $\lambda$ )	3.18	312.31	279.62	9323	96.56	W(k, $\lambda$ )	1.83	18.50	16.44	86.34	9.29
820	11.0	96	W(k, $\lambda$ )	3.74	442.84	399.87	14220	119.27	W(k, $\lambda$ )	3.15	290.49	259.99	8174	90.41	W(k, $\lambda$ )	1.71	23.89	21.31	165.38	12.86
1020	9.0	253	W(k, $\lambda$ )	1.37	460.93	421.66	97150	311.69	W(k, $\lambda$ )	2.01	289.13	256.22	17840	133.56	W(k, $\lambda$ )	3.32	16.56	14.86	24.29	4.93
1020	10.0	39	W(k, $\lambda$ )	1.29	365.81	338.33	69790	264.18	W(k, $\lambda$ )	2.71	294.17	261.62	10880	104.30	W(k, $\lambda$ )	3.45	12.60	11.33	13.19	3.63
1020	10.5	313	W(k, $\lambda$ )	1.47	433.67	392.66	74220	272.43	W(k, $\lambda$ )	2.67	318.79	283.39	13060	114.27	W(k, $\lambda$ )	1.90	11.81	10.48	32.86	5.73
1020	11.0	794	W(k, $\lambda$ )	1.60	420.93	377.38	58270	241.39	W(k, $\lambda$ )	3.47	324.81	292.12	8668	93.10	W(k, $\lambda$ )	1.95	11.20	9.93	28.22	5.31
1020	11.2	189	W(k, $\lambda$ )	1.49	361.83	327.01	50120	223.87	W(k, $\lambda$ )	2.15	287.08	254.24	15550	124.71	W(k, $\lambda$ )	1.57	12.52	11.25	53.52	7.32
1020	11.5	64	W(k, $\lambda$ )	3.99	269.59	244.31	4727	68.75	W(k, $\lambda$ )	4.82	258.01	236.39	3137	56.01	W(k, $\lambda$ )	2.17	10.13	8.97	19.03	4.36
1020	12.0	575	W(k, $\lambda$ )	1.29	436.59	403.96	99840	315.97	W(k, $\lambda$ )	2.40	283.23	251.08	12390	111.32	W(k, $\lambda$ )	1.56	11.60	10.43	46.83	6.84
1220	10.0	71	W(k, $\lambda$ )	2.20	1334.00	1181.00	321900	567.34	W(k, $\lambda$ )	1.85	654.10	580.96	105900	325.47	W(k, $\lambda$ )	2.74	34.14	30.38	143.25	11.97
1220	12.0	792	W(k, $\lambda$ )	2.03	1200.00	1063.00	301900	549.45	W(k, $\lambda$ )	1.24	558.23	521.06	179100	423.23	W(k, $\lambda$ )	1.95	32.34	28.68	236.41	15.38
1220	14.5	49	W(k, $\lambda$ )	2.18	1269.00	1124.00	296700	544.66	W(k, $\lambda$ )	1.58	661.73	594.06	148200	384.95	W(k, $\lambda$ )	2.13	32.88	29.12	207.17	14.39
1220	15.0	151	W(k, $\lambda$ )	2.16	1018.00	901.16	192600	438.91	W(k, $\lambda$ )	4.45	511.15	466.18	14080	118.67	W(k, $\lambda$ )	1.97	19.10	16.93	80.27	8.96
1420	16.5	80	W(k, $\lambda$ )	1.42	486.39	442.24	99480	315.41	W(k, $\lambda$ )	1.94	414.10	367.25	39070	197.66	W(k, $\lambda$ )	1.26	11.59	10.79	74.79	8.65

 $W(k, \lambda)$  – The Weibull distribution notation

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДИК ПРОГНОЗИРОВАНИЯ VCES НА ПРИМЕРАХ РЕАЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ**

*Алексеев С.Г.*

ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
ФГБОУ ВПО «Уральский институт ГПС МЧС России», г. Екатеринбург,  
Россия  
3608113@mail.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

В настоящее время в России действуют различные методики прогнозирования последствий взрывов газопаровоздушных смесей, которые нашли отражение в РБ Г-05-039-96, РД 03-409-01, ПБ 09-540-03, СП 12.13130.2009, ГОСТ Р 12.3.047-(1998)2012, Федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности. За рубежом данные взрывы классифицируются как Vapor Cloud Explosions или сокращенно VCEs. В качестве эталонных методов используются методики TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek – Нидерландская организация прикладных научных исследований) и BST (Baker–Strehlow–Tang). В качестве объекта сравнения выбран также метод Дорофеева, который частично заимствован методикой РД 03-409-01.

Ранее было показано, что сравнительный анализ вышеуказанных методик на примере расчетной аварийной ситуации, связанной с разливом авиакеросина марки РТ не позволяет отдать предпочтение тому или иному методу [1-3].

Для верификации отечественных и зарубежных методик выбраны следующие примеры: взрыв изопентана в производственном помещении дегазации производства изопренового каучука [4], взрыв циклогексана на предприятии «Нипро» (Nypro) в г. Фликсборо (Flixborough) в Великобритании [5, 6], гептана на территории предприятий CAI и Arnel Manufacturing Facility в г. Дэнверс в США [7]. Выбор этих примеров обусловлен тем, что в ранее проведенных исследованиях этих промышленных аварий визуальным методом установлены радиусы зоны разрушения [4-7].

Установлено, что для дефлаграционных взрывов метод BST2 (последняя модификация BS и BST методов) дает наилучший результат прогнозирования VCEs. Однако принимая возможную погрешность визуального определения воздействия избыточного давления взрыва, предсказания по методикам РД 03-409-01 и ME-TNO (мультиэнергетический метод TNO) следует признать удовлетворительными. В случае VCEs в режиме детонации наилучшие прогнозы дают методы Дорофеева и ТНТ из РД 03-409-01.

#### Библиографический список

1. Алексеев С.Г., Гурьев Е.С., Авдеев А.С., Барбин Н.М. Сравнительный анализ методик прогнозирования последствий взрывов газопаровоздушных смесей // Проблемы анализа риска. 2013. Т. 10, № 4. С. 12-19.
2. Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Н.М., Гурьев Е.С. Методы оценки взрывоопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VII. BST-методы // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22, № 12. С. 23-30.
3. Алексеев С.Г., Авдеев А.С., Барбин Н.М., Гурьев Е.С. Методы оценки взрывоопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VIII. Сравнение методов Дорофеева, РД 03-409-01 и BST2 // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24, № 3. С. 6-12.
4. Бесчатнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение. М.: Химия, 1991. 432 с.
5. The Flixborough Disaster. Report of the Court of Inquiry // Report of Department of Employment of H.M.S.O. L.: Her Majesty's Stationery Office, 1975. 93 p.



6. Маршалл В. Основные опасности химических производств. М.: Мир, 1989. 672 с.
7. Confined vapor cloud explosion (10 injured, and 24 houses and six businesses destroyed) CAI, Inc. and Arnel Company, Inc. // Report No 2007-03-I-MA. Washigton: CSB, 2007. 122 p.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **АНАЛИЗ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА**

*Алехин В.Н.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия,  
sapro\_ustu@mail.ru

*Антипин А.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия,  
sapro\_ustu@mail.ru

*Городилов С.Н.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия,  
sapro\_ustu@mail.ru

*Пастухова Л.Г.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия,  
sapro\_ustu@mail.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Авторами проведено численное исследование вибрационного воздействия на проектируемый 11-этажный жилой дом с нежилыми помещениями на 1-м этаже и подземной автостоянкой в г. Екатеринбурге, размещенного непосредственно над тоннелями линии действующего метрополитена, с целью сравнения изолирующей способности различных вибродемпфирующих материалов на примере эластомерного материала Nowelle™, mod 1.10 общего назначения (Россия) и полиуретановых виброизоляционных матов Sylomer AG5004 фирмы «Getzner» (Австрия). Площадь застройки 1453,3 м<sup>2</sup>. Глубина заложения туннелей на участке планируемого строительства 30 м.

В качестве исходных данных приняты результаты экспериментального исследования уровней виброускорения на поверхности грунта на территории проектируемой застройки [3]. Экспериментально установлено, что движение поездов создают вибрации в трех направлениях – горизонтальных X, Y и вертикальном Z – в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5 (70...92 дБ) и 63 Гц (73...96 дБ). В октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8 и 16 Гц уровень вибрации от прохождения поездов метро не превышает фоновых значений. Таким образом, общая вибрация носит высокочастотный характер. Уровни виброускорения, создаваемые поездами метрополитена на территории застройки жилого дома на 6...15 дБ, превышают значения, допустимые для жилых помещений. Известно, что при распространении вибраций с грунта на конструкции здания их величина может изменяться – уменьшаться в конструкциях фундамента и увеличиваться в плитах перекрытий и стенах, что может вызывать повышенные уровни вибрации и шум в помещениях проектируемой застройки [4, 5].

Наиболее эффективным методом виброизоляции в зданиях является снижение вибрации в источнике, в данном случае в стволе веток метрополитена. Альтернативный метод виброизоляции (снижение ее на пути распространения) заключается в использовании слоя упругого (виброизолирующего) материала под фундаментной плитой, а также между подземной частью здания и грунтом.

С целью выбора материала виброизоляции проведен расчет ожидаемых уровней виброускорений на перекрытиях этажей, на которых располагаются жилые и встроенные нежилые помещения для двух вариантов виброизоляционного слоя:

- 1 – полиуретановых виброизоляционных матов Sylomer AG5004 фирмы «Getzner» (Австрия);
- 2 – эластомерного материала Nowelle™, mod 1.10 общего назначения (Россия).

Для расчета была использована расчетная пространственная модель здания, построенная в программе ЛИРА-САПР, в которую были введены пластинчатые конечные элементы с характеристиками виброизолирующего материала, располагающиеся в основании; по-

строено дополнительное нагружение от воздействия вибрации на конструкции здания, при котором спектры динамических воздействий прикладывались к одноузловым конечным элементам упругих связей и передавались в узлы конечных элементов, моделирующих виброизолирующий материал.

С целью достижения максимальной правдоподобности прогнозируемых результатов была учтена нестационарность процесса распространения вибрации по конструкциям здания. С этой целью выполнена цифровая обработка динамики экспериментальных замеров. Построены акселерограммы зависимости виброускорений от времени в период проходов электропоездов по тоннелям в двух направлениях.

В качестве расчетного интервала времени интегрирования выбран интервал прохождения электропоезда  $t = 20$  с.

Переход от уровней виброускорения к среднеквадратическим значениям виброускорения производился по известной зависимости [1]:

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{1 \cdot 10^{-6}},$$

где  $a$  – среднеквадратическое значение (СКЗ) амплитуды виброускорения,  $\text{м/с}^2$ ;

$1 \cdot 10^{-6}$  – опорное значение виброускорения,  $\text{м/с}^2$ .

Согласно ГОСТ [2] интервал времени осреднения амплитуд виброускорения составляет не менее 1 с, тогда как расчетный временной шаг  $\Delta t$  принят равным полупериоду максимальной анализируемой частоты

$$\Delta t = 1/(2f_{\max}),$$

где  $f_{\max}$  – частота 63 Гц, .

Тогда  $\Delta t = 1/(2 \cdot 63) = 1/126 = 0,0079 \approx 0,01$  с.

Для синусоидальных вибраций с постоянными амплитудами среднеквадратическое значение (СКЗ) амплитуды равны самой амплитуде. Очевидно, что вибрации от поездов метрополитена, передающиеся через грунт, носят сложный несинусоидальный полигармонический характер со сложным спектром и с возможными "внутри секундными пиками", для которых не существует простых соотношений между параметрами вибрации. Для учета этого обстоятельства при переводе среднеквадратических значений (СКЗ) амплитуд виброускорения в значения мгновенных амплитуд принято, в соответствии с [2], что отношение пиковых значений к средним квадратическим составляет

$$k = a_{\max}/a,$$

где  $k$  – пик-фактор, принятый в расчете равным  $\sqrt{2} = 1,41$ .

В результате расчета пространственной конечно-элементной модели определены изменения значения виброускорений во времени с шагом  $\Delta t = 0,01$  с при почастотном нагружении в нормируемом диапазоне со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8, 16, 31,5 и 63 Гц. Расчетные точки выбраны в узлах модели, расположенных на перекрытиях в центре помещений с наибольшим удалением от стен, как наиболее неблагоприятные для возникновения вертикальных вибраций.

Сравнение результатов пиковых максимумов уровней виброускорений для двух вариантов вибродемпфирующих слоев приведено в табл. 1.

Таблица 1

Пиковые максимумы ожидаемых уровней вибрации на перекрытиях этажей, дБ S

Этаж	Направление	Silomer (Австрия)	Nowelle (Россия)	Разница уровней вибрации Silomer и Nowelle
Покрытие	X	91	92	-1
	Y	94	94	0
	Z	90	90	0
12 этаж технический	X	87	89	-2
	Y	94	93	1
	Z	91	89	2
11 этаж	X	89	90	-1
	Y	92	93	-1
	Z	90	90	0
10 этаж	X	89	89	0
	Y	90	93	-3
	Z	89	89	0
9 этаж	X	89	88	1
	Y	96	96	0
	Z	89	92	-3
8 этаж	X	90	88	2
	Y	94	97	-3
	Z	91	91	0
7 этаж	X	94	90	4
	Y	97	99	-2
	Z	93	91	2
6 этаж	X	88	89	-1
	Y	99	97	2
	Z	91	92	-1
5 этаж	X	94	94	0
	Y	90	90	0
	Z	87	89	-2
4 этаж	X	94	93	1
	Y	91	89	2
	Z	89	90	-1
3 этаж	X	92	93	-1
	Y	90	90	0
	Z	90	89	0
2 этаж	X	90	94	-4
	Y	89	89	0
	Z	89	88	1
1 этаж	X	95	95	0
	Y	89	92	-3
	Z	90	88	2

В результате проведенных расчетов установлено:

Абсолютные мгновенные пики уровней виброускорений лежат в пределах:

- для полиуретановых виброизоляционных матов Sylomer AG5004 фирмы «Getzner» (Австрия) – 85...99 дБ;
- для эластомерного материала Nowelle™, mod 1.10 общего назначения (Россия) – 88...98 дБ.

При сравнении ожидаемых уровней вибрации на перекрытиях этажей эластомерный материал Nowelle™, mod 1.10 общего назначения (Россия) оказался не хуже виброизоляционных матов Sylomer AG5004 фирмы «Getzner» (Австрия) в 51% случаев.

Применение в проекте жилого дома виброизоляционного слоя из эластомерного материала Nowelle™, mod 1.10 общего назначения (Россия) по сравнению с матами Sylomer AG5004 фирмы «Getzner» (Австрия) позволил сократить затраты в 2,1 раза (в ценах марта 2015 года).

#### Библиографический список

1. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
2. ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997). Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Общие требования.
3. Отчет 04/13-021 об измерениях вибрации метрополитена на территории застройки жилого комплекса по адресу: г. Екатеринбург, ул. Челюскинцев, 82. Научно-технический отчет. ООО «ЛАИСФ», 2013 г.
4. Справочник по защите от шума и вибрации жилых и общественных зданий. Под.ред. Заборова В.И. Киев. «Будивельник», 1989 г.
5. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. М.: Университетская книга, Логос. 2008.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА НАГРУЖЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЧНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ**

*Алехин В.Н.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия,  
referetsf@yandex.ru

*Пыхтеева Н.Ф.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия,  
referetsf@yandex.ru

*Миронова В.И.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия,  
oifustu@gmail.com

*Львов Д.О.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия,  
Lvov.dima1993@gmail.com

Для расчетов деформаций, оценки прочности и устойчивости грунтовых массивов и оснований необходимо знать характеристики механических свойств грунтов. Механические свойства грунтов зависят от их гранулометрического и минерального состава, физических характеристик и структурных особенностей, обусловленных физико-географическими условиями образования грунтов [7].

Основными параметрами механических свойств грунтов, определяющими несущую способность оснований и их деформации, являются прочностные и деформационные характеристики грунтов (угол внутреннего трения  $\phi$ , удельное сцепление  $c$ , предел прочности на одноосное сжатие скальных грунтов  $R_c$ , модуль деформации  $E$  и коэффициент поперечной деформации  $\nu$  грунтов). Допускается применять другие параметры, характеризующие взаимодействие фундаментов с грунтом основания и установленные опытным путем (удельные силы пучения при промерзании, коэффициенты жесткости основания и пр.) [6]

В 2012 году в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б.Н.Ельцина на базе Регионального геотехнического центра Строительного института организована лаборатория «Механика грунтов». Лаборатория оснащена полностью автоматизированным комплексом «АСИС-1» для лабораторных испытаний грунтов и определения характеристик прочности и деформируемости в соответствии не только с российскими, но и европейскими и американскими стандартами [5].

Многообразие методов исследования грунтов позволяет получать одни и те же характеристики грунтов несколько раз, используя ту или иную схему и методику испытаний. При этом результаты этих испытаний должны однозначно характеризовать свойства грунта, так как от этого напрямую зависит выбор проектных решений, а также надежность и безопасность возводимых объектов. Известно, что лабораторные и полевые методы исследования грунтов могут давать некоторые расхождения, что подтверждено многочисленными наблюдениями [1].

В лаборатории Механики грунтов было проведено сравнение результатов определения прочностных характеристик нескольких грунтов с использованием разных приборов и режимов нагружения в лабораторных условиях.

Для этого были проведены параллельные испытания глинистых грунтов по одной схеме испытания на разных приборах, допущенных по ГОСТ 30416 [2] и ГОСТ 12248 [3] для проведения испытаний, но с разными режимами нагружения. Испытания проводились на приборе одноплоскостного среза, входящего в комплекс АСИС-1 и приборе для испытания грунтов на сдвиг ПСГ. Схема испытания — консолидированно-дренированный срез. Режим нагружения кинематический для прибора одноплоскостного среза и статический для прибора ПСГ.



Испытания проводились на грунтах, физические характеристики которых определялись по ГОСТ 5180 [4]. Результаты, полученные при испытании грунтов в соответствии с ГОСТ 12248 [3], приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты определения параметров сдвига при разных режимах нагружения

Разновидность грунта	Режим нагружения									
	Кинематический на приборе плоского среза					Статический на приборе ПСГ				
	Касательные напряжения $\tau$ при нормальных напряжениях $\sigma$ , МПа			Параметры среза		Касательные напряжения $\tau$ при нормальных напряжениях $\sigma$ , МПа			Параметры среза	
	0,1	0,2 (0,3)	0,3 (0,5)	$\varphi$ , °	$c$ , МПа	0,1	0,2 (0,3)	0,3 (0,5)	$\varphi$ , °	$c$ , МПа
Суглинок полутвердый делювиальный	0,074	0,100	0,134	17	0,043	0,072	0,105	0,135	18	0,041
Суглинок твердый элювиальный	0,079	0,100	0,142	17	0,044	0,075	0,110	0,147	20	0,039
Супесь пластичная элювиальная	0,060	0,084	0,131	20	0,021	0,060	0,110	0,150	24	0,017
Глина полутвердая элювиальная	0,077	0,134	0,190	16	0,049	0,070	0,115	0,192	17	0,035

Примечание: в скобках даны значения нормальных напряжений  $\sigma$  для глины.

Для контроля были проведены исследования на идентичных образцах из суглинка элювиального с заданными значениями влажности ( $w = 23\%$ ) и плотности сухого грунта ( $\rho_d = 1.60 \text{ г/см}^3$ ) специально изготовленных в соответствии с ГОСТ 30416 [2] на приборе стандартного уплотнения.

На подготовленных образцах определялись параметры сдвига по консолидировано-дренированной схеме нагружения (табл. 2).

Таблица 2

Результаты определения параметров сдвига на образцах грунта с заданными значениями влажности и плотности сухого грунта

Разновидность грунта	Режим нагружения									
	Кинематический на приборе плоского среза					Статический на приборе ПСГ				
	Касательные напряжения $\tau$ при нормальных напряжениях $\sigma$ , МПа			Параметры среза		Касательные напряжения $\tau$ при нормальных напряжениях $\sigma$ , МПа			Параметры среза	
	0,1	0,2	0,3	$\varphi$ , °	$c$ , МПа	0,1	0,2	0,3	$\varphi$ , °	$c$ , МПа
Суглинок элювиальный	0,073	0,100	0,128	16	0,045	0,078	0,110	0,147	19	0,043

Полученные данные свидетельствуют о том, что значения углов внутреннего трения для всех исследуемых разновидностей грунта при статическом режиме нагружения в приборе ПСГ выше на 1-4°, чем при кинематическом в приборе плоскостного среза. Вместе с тем, удельное сцепление при кинематическом нагружении, наоборот, имеет большие значения на

величину от 0,02 до 0,14 МПа. Похожая тенденция прослеживается и при исследовании специально подготовленных образцов грунта. Отклонение полученных значений сдвиговых характеристик от их средних значений (табл. 3) имеют довольно большой разброс. Незначительные отклонения получены для суглинка полутвердого делювиального, для элювиальных грунтов отклонения составляют от 6 до 18 % по углу внутреннего трения  $\varphi$  и от 4 до 33 % по удельному сцеплению  $c$ .

Таблица 3

## Отклонения от среднего значения параметров сдвига

Разновидности грунта	Отклонение от среднего значения параметров сдвига, %	
	$\varphi, ^\circ$	$c, \text{МПа}$
Суглинок полутвердый делювиальный	6	5
Суглинок твердый элювиальный	16	12
Супесь пластичная элювиальная	18	21
Глина полутвердая элювиальная	6	33
Суглинок элювиальный	17	4

Таким образом, при рассмотрении результатов исследований грунтов с использованием различных технологий лабораторных испытаний установлено, что результаты полученных единичных анализов при определении прочностных характеристик грунта зависят от конструкции применяемых приборов и режимов нагружения грунтов в лабораторных условиях. Отклонения параметров сдвига от среднего значения для некоторых грунтов превышают 20 %, что, по нашему мнению, является существенным и требует дополнительных исследований.

## Библиографический список

1. Болдырев Г.Г., Мельников А.В., Меркульев Е.В., Новичков Г.А. Сравнение методов лабораторных и полевых испытаний грунтов//Инженерные изыскания. Всероссийский научно-аналитический журнал. 2013. № 14. С. 28-44.
2. ГОСТ 30416 — 2012 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения М., Стандартинформ, 2013.
3. ГОСТ 12248 — 2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М., Стандартинформ, 2011.
4. ГОСТ 5180 — 84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М., Издательство стандартов, 1993.
5. НПП ГЕОТЕК URL: <http://www.npp-geotek.ru/> (дата обращения: 10.02.2014).
6. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. М., 2011.
7. Ухов С. Б., Семенов В. В., Знаменский В. В., Тер-Мартirosян З. Г., Чернышев С. Н. Механика грунтов, основания и фундаменты. М., 2004. 566 с.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**К ПОСТАНОВКЕ ПРОБЛЕМЫ О  
НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА В РАСЧЕТЕ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «СЭНДВИЧ-  
ПАНЕЛЬ – КАРКАС ЗДАНИЯ»  
КРЕПЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Ананьин М.Ю.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
m.y.ananin@urfu.ru

*Ведищева Ю.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
botan1@inbox.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Обеспечение безопасных и комфортных условий пребывания людей в здании является первостепенной задачей как при типовом проектировании зданий, так и при разработке новых конструктивных решений.

Соблюдение санитарно-гигиенических норм в здании при использовании в качестве ограждающих конструкций сэндвич-панелей с металлическими обшивками, а также вопросы, связанные с необходимостью учета напряженно-деформированного состояния крепежных элементов при расчете несущей способности системы «сэндвич-панель – каркас здания», были рассмотрены авторами в работе [3].

При изучении напряженно-деформированного состояния ограждающих конструкций зданий из металлопрофилей, представляет интерес не только величина прогиба панели под действием внешней нагрузки, но и работа крепежных элементов системы «сэндвич-панель – каркас здания».

С целью выявления характера деформации крепежной системы был проведен ряд предварительных численных экспериментов при приложении к системе равномерно-распределенной статической нагрузки, а также нагрузки, возникающей вследствие разности температур снаружи и внутри здания. Результаты расчета, полученные авторами, сравнивались с теоретическим расчетом, проведенным по известным формулам [1], и с результатами эксперимента, приведенными в работе [2].

Согласно результатам эксперимента прогиб панели длиной 3,2 метра с обшивками толщиной 0,5 мм с малым гофром и толщиной утеплителя 50 мм от равномерно-распределенной нагрузки величиной 1,82 кПа составит 48 мм. При проведении эксперимента совместная работа системы «сэндвич-панель каркас здания» не учитывалась [2].

Прогиб панели, полученный в результате численного моделирования работы конструкции без учета совместной работы панели и ветрового ригеля, равен 50 мм, что согласуется с данными эксперимента [2], распределение напряжений, полученных при моделировании работы панели, соответствует реальной работе конструкции. Теоретический расчет по формулам сопротивления материалов [1] дает значение прогиба, равное 47,2 мм, что также согласуется со значениями прогибов панели по результатам эксперимента [2] и по результатам численного моделирования работы конструкции.

В реальных условиях, при действии на сэндвич-панель внешней нагрузки, элементы каркаса здания (ветровые ригели) включаются в работу совместно с сэндвич-панелью, что влияет на напряженно-деформированное состояние самой панели, элементов ее крепления к каркасу здания и элементов каркаса здания (ветровых ригелей). Из-за наличия утеплителя в сэндвич-панели увеличивается гибкость конструкции, а сдвиговая сила, действующая в конструкции, распределяется между внутренней обшивкой и конструкцией опоры (элементами

каркаса здания) [1]. Таким образом, при расчете на прочность системы «сэндвич-панель – каркас здания» возможно необходим учет контактных напряжений, возникающих в месте крепления сэндвич-панели к элементам каркаса здания.

Для выяснения действительной работы сэндвич-панелей была разработана модель для численного решения задачи совместной работы панели и ветрового ригеля.

При решении контактной задачи в программном комплексе значение прогиба панели, с учетом совместной работы системы «сэндвич-панель – каркас здания», равно 42,6 мм. При теоретическом расчете панели, с учетом работы ветрового ригеля на концах панели, теоретический прогиб панели равен 42,1 мм.

Разрушение системы «сэндвич-панель – каркас здания» происходит чаще всего из-за отрыва утеплителя панели от ее наружных обшивок и из-за превышения предельных деформаций крепежных элементов (самонарезающих винтов и обшивок панели в зоне ее крепления к ветровым ригелям) [3].

Характер деформаций самонарезающих винтов, наблюдаемый в ходе численного эксперимента, говорит о том, что элементы крепления испытывают деформации сдвига, растяжения и изгиба.

Так, при расчете по допускаемым напряжениям, деформации самонарезающего винта диаметром 5,5 мм, используемого при однопролетном креплении сэндвич-панели длиной 6 м с металлическими обшивками, толщиной 0,5 мм и слоем утеплителя толщиной 150 мм с помощью самонарезающих винтов с шагом 0,45 м к ветровому ригелю здания, представляющего собой швеллер с толщиной полки 5 мм, при действии нагрузки только от перепада температур (температура внутри помещения +20°C, температура снаружи –40°C), касательные напряжения в теле винта составляют 84,7 МПа при допускаемых напряжениях 90 МПа.

Таким образом, разрушение системы «сэндвич-панель – каркас здания» могло произойти из-за среза самонарезающих винтов. На практике, разрушение системы «сэндвич-панель – каркас здания» происходит вследствие разрыва тела винта или его вырыва из полки швеллера под действием внешней нагрузки, или смятия обшивки сэндвич-панели в месте крепления ее самонарезающим винтом к элементу каркаса здания. Так как по данным экспериментов срез винтов происходит только при толщинах соединяемых материалов более 1,5 мм, а для всех остальных толщин разрушение происходит как смятие листов соединяемых материалов [4], то, в данном случае, среза самонарезающего винта не произойдет, но разрушение системы «сэндвич-панель – каркас здания» произойдет из-за смятия обшивки сэндвич-панели в месте крепления ее самонарезающим винтом к ветровому ригелю.

Для однопролетной панели длиной 3 метра при толщине металлических обшивок 0,5 мм, толщине утеплителя 150 мм, которая крепится к ветровым ригелям – швеллерам с тол-

щиной полки 5 мм с помощью самонарезающих винтов с шагом 0,45 м, при действии нагрузки только от перепада температур, касательные напряжения в самонарезающих винтах в месте контакта внутренней обшивки панели и ветрового ригеля, равны 14,4 МПа при допускаемых напряжениях 90 МПа. Таким образом, при снижении пролета сэндвич-панели, значительно снижаются сдвиговые деформации, возникающие в месте крепления панели к элементам каркаса здания.

Также в ходе проведения предварительного численного эксперимента выявлено, что деформации самонарезающих винтов в узле не равномерны. Это наблюдение подтверждается данными эксперимента [4]. Кроме того, в ходе численного эксперимента замечено, что крайние самонарезающие винты в узле испытывают большие деформации, нежели центральные самонарезающие винты. Неравномерность включения в работу элементов крепления в многвинтовых соединениях подтверждена результатами эксперимента [4].

Кроме того, по данным предварительных численных экспериментов сделан вывод о том, что постановка дополнительных элементов крепления не дает значительного снижения деформаций сдвига, возникающих в месте крепления сэндвич-панели к элементам каркаса здания. При этом работа самонарезающих винтов, как элементов крепления, на вырыв из полки швеллера и обшивки панели, а также на растяжение, при постановке дополнительных самонарезающих винтов улучшается.

Таким образом, повысить несущую способность системы «сэндвич-панель – каркас здания» можно следующими методами:

- применением панелей вертикальной разрезки, что приведет к снижению сдвиговых деформаций в месте крепления панели к элементам каркаса здания;
- снижением шага постановки крепежных элементов, что приведет к увеличению несущей способности системы на вырыв самонарезающих винтов из полки швеллера и обшивки панели и снизит деформации растяжения, возникающие в элементах крепления.

Анализ результатов серии предварительных численных экспериментов показал необходимость проведения дальнейших исследований для более глубокого анализа работы системы «сэндвич-панель – каркас здания» с учетом наличия контактных напряжений в месте крепления панели к элементам каркаса здания (колоннам и ветровым ригелям).

#### Библиографический список

1. J. M. Davies. Lightweight sandwich construction: Blackwell Science Ltd, 2001
2. Хайруллин Л. Р. Несущая способность трехслойных панелей с металлическими обшивками и технологическими стыками среднего слоя, дисс. к.т.н.: Казань, 2012.
3. Ананьин М.Ю., Ведищева Ю.С. Влияние температурных воздействий на энергосберегающие свойства быстровозводимых зданий: Город XXI века: управление развитием. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 223 с.

4. Катранов И.Г. Несущая способность винтовых и заклепочных соединений стальных тонкостенных конструкций: дисс. к.т.н., Москва, 2011.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССОВ ВОЗВЕДЕНИЯ СТЕН КАРКАСНЫХ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ**

*Ананьин М.Ю.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
[m.y.ananin@urfu.ru](mailto:m.y.ananin@urfu.ru)

*Пекарь Г.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

*Фомин Н.И.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**



Важной задачей современной строительной науки и практики является обеспечение работоспособности спроектированных технологических процессов возведения здания. Задача обеспечения технологической надежности приобретает особую важность в случае проектирования и реализации ключевых строительных процессов, связанных с возведением несущего остова здания. В работе предложен комплекс новых конструктивных решений, обеспечивающий технологическую надежность процессов возведения несущих стен монолитных гражданских зданий.

Несмотря на широкое использование современных материалов и оснастки при возведении монолитного каркаса существующий уровень технологической надежности опалубочных, арматурных и бетонных работ на многих отечественных строительных объектах нельзя признать достаточным. Рациональным направлением, позволяющим не только снизить дефектность конструкций каркаса, обусловленную недостаточной надежностью строительных процессов и, одновременно, повысить скорость его возведения, является сочетание монолитного железобетона и сборных конструкций. Один из вариантов успешной реализации данного направления заключается в применении несъемной железобетонной опалубки. За последнее время в гражданском строительстве Свердловской области получила распространение несъемная железобетонная опалубка стен и перекрытий с несущим арматурным каркасом «Филигран» (далее несъемная опалубка), изготавливаемая по германской технологии [1, 2].

Наши исследования, а также опыт строительства гражданских зданий в городах Свердловской области показал, что наибольшим потенциалом для повышения технологической надежности возведения сборно-монолитных конструкций каркаса обладает стеновая несъемная опалубка [3]. При этом существующее конструктивное решение данной опалубки не позволяет в полной мере обеспечить высокую технологическую надежность процессов изготовления сборно-монолитной стены по следующим причинам.

1) Процесс качественного уплотнения бетонной смеси в несъемной опалубке затруднен из-за наличия пространственного арматурного каркаса и малого расстояния между плитами (обычно 100 – 120 мм). Проведенные нами исследования образцов (в виде кернов), выбуренных из сборно-монолитной стены, показали, что использование традиционных глубинных вибраторов не обеспечивает качественного уплотнения смеси, в результате чего в ней образуются воздушные пустоты, как правило, на границе монолитной части со сборными. Кроме этого, увеличение объема пустот в монолитной части происходит также из-за малой площади открытой поверхности смеси между сборными плитами.

2) При укладке бетонной смеси в несъемную опалубку в зимних условиях технологическое обеспечение благоприятных температурных условий для формирования прочности

твердеющего бетона является задачей, определяющей, в целом, несущую способность сборно-монолитной стены. Комплексность задачи обусловлена необходимостью обеспечения положительных температур во всем объеме сборно-монолитной стены. В действующих нормах [2] в качестве основного метода бетонирования с использованием несъемной железобетонной опалубки предусмотрено устройство тепляков с тепловлагозащитным покрытием. Данное решение нельзя признать технологичным.

3) В действующих нормах по устройству сборно-монолитных конструкций в несъемной опалубке [2] предусмотрен ультразвуковой метод неразрушающего контроля, предполагающий измерение скорости прохождения ультразвука через каждую сборную панель до бетонирования и после него через сборно-монолитную конструкцию. До производства бетонных работ, строительная лаборатория должна произвести ультразвуковой контроль сборных конструкций, принятой к производству, что достаточно сложно выполнить при организации монтажа «с колес», из-за необходимости постоянного присутствия на площадке сотрудника лаборатории. Ультразвуковой контроль также требует точного измерения толщины сборных плит опалубки и монолитного сердечника. Выявленные требования к реализации ультразвукового контроля, таким образом, снижают его технологическую надежность и делают слабо пригодным для практической реализации.

Для устранения указанных недостатков был разработан комплекс конструктивных решений несъемной стеновой опалубки, новизна которых подтверждена патентами [4–6]. В качестве прототипа применена конструкция железобетонной несъемной стеновой опалубки с несущим арматурным каркасом «Филигран». Всего разработано три решения несъемной стеновой железобетонной опалубки, направленных на обеспечение технологической надежности бетонных работ при устройстве сборно-монолитной стены.

Первое решение (рис. 1 а) реализуется устройством в каждой плите ряда сквозных каналов, расположенных наклонно к ее наружной и внутренней поверхностям [4]. Выход каждого канала на наружной поверхности плиты расположен выше его выхода на внутренней поверхности. Наличие каналов позволяет обеспечить стабильно высокую несущую способность монолитного сердечника сборно-монолитной стены за счет увеличения площади открытой поверхности смеси и обеспечения дополнительного выхода воздуха из монолитной части при ее уплотнении. Предлагаемая ориентация каналов относительно поверхностей плит обеспечивает выход воздуха, но не позволяет бетонной смеси вытекать из опалубки.

Второе решение (рис. 1 б) заключается в креплении к плоскому арматурному каркасу плиты, на стадии ее изготовления, греющего провода, выполненного в виде змеевика, концы которого выведены наружу плиты, а также в креплении вертикальных стержневых электродов к пространственному арматурному каркасу между плитами [5]. Устройство греющих

проводов и электродов обеспечивает стабильно высокую несущую способность монолитного сердечника сборно-монолитной стены при бетонировании в период с низкими температурами воздуха.

Третье решение (рис. 1 в) заключается в устройстве в одной из плит опалубки при ее изготовлении сквозных отверстий, заполненных пробкой из поризованного материала, например экструдированного пенополистирола [6]. Регулируется количество и площадь отверстий, а также расположение границы отверстия относительно края плиты. Наличие пустот в плите опалубки, заполненных легко извлекаемым материалом, позволяет обеспечить доступ к поверхности монолитного сердечника для возможности неразрушающего контроля прочности бетона монолитного сердечника. Данное решение позволяет с высокой технологичностью реализовать неразрушающий контроль прочности бетона монолитного сердечника (без замеров геометрии сборной и монолитной части) и обеспечить достоверность оценки прочности монолитного сердечника.

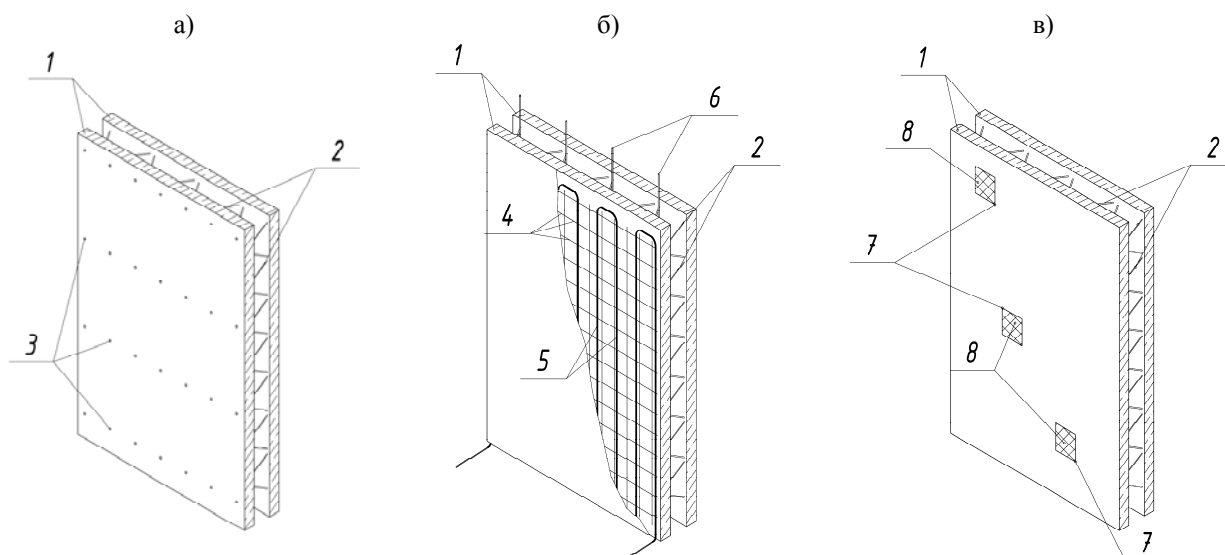


Рис. 1. Конструктивные решения несъемной стеновой железобетонной опалубки: а) – пат. РФ 135671; б) – пат. РФ 145947; в) – пат. РФ 145678

1 – тонкостенная железобетонная сборная плита; 2 – пространственный арматурный каркас, соединяющий плиты; 3 – сквозной канал в плите, расположенный наклонно к ее поверхностям; 4 – плоский арматурный каркас плиты; 5 – греющий провод, выполненный в виде змеевика, в плите; 6 – стержневой электрод, установленный между плитами; 7 – сквозное отверстие в плите, 8 – заполнение отверстия из поризованного материала

Реализация разработанных конструктивных решений стеновой несъемной опалубки позволит обеспечить высокую технологическую надежность процессов при укладке и уплотнении бетонной смеси монолитной части, повысить достоверность и технологичность контроля прочности бетона монолитной части.

#### Библиографический список

1. СТО НОСТРОЙ 2.6.15-2011 «Конструкции сборно-монолитные железобетонные. Стены и перекрытия с пространственными арматурным каркасом. Технические условия». М.: НИИЖБ, Издательство «БСТ». 2011. – 49 с.

2. СТО НОСТРОЙ 2.7.16-2011 «Конструкции сборно-монолитные железобетонные. Стены и перекрытия с пространственными арматурным каркасом. Правила выполнения, приемки и контроля монтажных, арматурных и бетонных работ». М.: НИИЖБ, Издательство «БСТ». 2012. – 73 с.
3. Фомин, Н.И. Исследование технологии устройства сборно-монолитных стен в несъемной железобетонной опалубке / Н.И. Фомин // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 5(40). С. 131-136.
4. Патент № 135671 РФ. Железобетонная несъемная стеновая опалубка / Н.И. Фомин, К.В. Бернгардт, Д.Л. Шаврин. - № 2013130539/03; заявл. 02.07.2013; опубл. 20.12.2013, Бюл. № 35. - 1 с.
5. Патент № 145947 РФ. Железобетонная несъемная стеновая опалубка / Н.И. Фомин, Д.Л. Шаврин. - № 2013154205/03; заявл. 05.12.2013; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27. - 1 с.
6. Патент № 145678 РФ. Железобетонная несъемная стеновая опалубка / Н.И. Фомин, Д.Л. Шаврин. - № 2013155416/03; заявл. 12.12.2013; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27. - 2 с.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ПОДСИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ КАК КРИТИЧЕСКИЙ ИНФРАСТРУКТУРНЫЙ ФАКТОР ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Аникин Ю.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
anikin.uri@gmail.com

*Шилков В.И.*

У ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Одной из важнейших задач, стоящих перед российской экономикой является задача повышения эффективности функционирования и развития социально-экономических систем. Жизнеспособность этих систем, в свою очередь зависит от большого количества различных факторов и ресурсов, необходимых для обеспечения функционирования основных процессов.

Комплексный характер различных рисков может приводить к появлению негативных эффектов, которые снижают конкурентоспособность и жизнеспособность не только отдельной производственной системы, но и приводят к потере необходимого уровня безопасности территории и региона. К существенным рискам, как отмечено в работе [1], можно отнести, например, «условия чрезвычайных ситуаций, вызванных как природными явлениями, экономическими изменениями среды, так и провокационными действиями конкурента на рынке».

Безопасность можно связать с таким состоянием территории, при котором действие внешних и внутренних факторов не приводит к невозможности функционирования и развития ее социально-экономических элементов.

Можно предположить, что безопасность элемента территориального инфраструктурного комплекса следует связывать либо с ощущаемым состоянием безопасности, либо с состоянием, соответствующим установленным критериям безопасности и характеризующимся возможностями устойчивого функционирования и развития.

Наряду с другими критическими факторами, подсистема водоснабжения и водоотведения является важной частью инфраструктурного комплекса и влияет на безопасность территории.

В Докладе [2], подготовленном международной группой экспертов под эгидой Программы развития ООН в 2006 г. сообщалось, что 1,2 млрд жителей Земли не имеют доступа к безопасной воде, а 2,6 млрд – к элементарной канализации. В Докладе содержится призыв о необходимости согласованных действий всего мирового сообщества для обеспечения населения Земли услугами водоснабжения и канализации.

Российская Федерация в достаточной степени обеспечена водными ресурсами. Однако водные ресурсы неравномерно распределены по территории государства, что негативно сказывается на развитии промышленности и социальной сферы.

Проблемы неравномерного распределения водных ресурсов характерны не только для федеральных округов России, но и для многих зарубежных стран.

Почти повсеместно системы водоснабжения ориентированы на забор воды из поверхностных источников, несмотря на отмеченную выше географическую неравномерность распределения водных ресурсов по территории России, а также временную неравномерность, т.е. отклонение годовых объемов от своих среднеемноголетних значений.

Как отмечено в Государственном докладе [3] « по сравнению с поверхностными водами подземные воды для различных целей используются в гораздо меньших объемах. За период 2000-2012 гг. в целом по России наблюдается даже сокращение общей величины добычи и извлечения подземных вод. В сравнении с 2000-ным годом изменение этого показателя достигло 6,3 млн. м<sup>3</sup>/сут. (19 %). Длительный период времени средняя доля использования подземных вод в общем балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения составляет 45 % (для городского населения – 40 %, а для сельского – 83 %). Это связано с тем, что системы водоснабжения большинства городов базируются на поверхностных водоисточниках, хотя показатели качества поверхностных вод обычно хуже, чем подземных.

Степень их освоения (отношение добычи подземных вод к запасам) изменяется по федеральным округам от 8,5 % (Дальневосточный) до 23,0 % (Уральский), по субъектам РФ – от 0,6 % (Омская область) до 39,2 % (Белгородская область) и в целом по России составляет 15,5 %»

На безопасность как поверхностных, так и подземных водных ресурсов могут влиять различные факторы.

Так, например, в работе [4] в качестве основных угроз водной безопасности названы:

- прямые угрозы для систем питьевого водоснабжения, в том числе природные и техногенные угрозы, в том числе теракты, землетрясения, штормы и наводнения;
- угрозы из точечных и неточечных источников загрязнения водных экосистем;
- усиление антропогенного воздействия на экосистемы, вызванные резким увеличением объемов потребления воды;
- влияние изменения климата в результате усиления гидрологической изменчивости, в том числе увеличение амплитуды и частоты засухи и наводнения;
- отсутствие доступности водных ресурсов.

Подготовку и доставку воды до потребителей, водоотведение и очистку сточных вод осуществляют системы водоснабжения и водоотведения. Техническое и экономическое состояние этих систем оказалось в последние годы достаточно сложным [5].

К причинам, осложняющим работу сооружений станций водоподготовки и очистных сооружений сточных вод можно отнести:

- несоответствие технологий обработки природных и сточных вод и применяемого оборудования современным требованиям по показателям качества питьевой воды в условиях повышенного загрязнения водоисточников и требованиям по показателям очищенных сточных вод для сброса;
- износ основных фондов станций водоподготовки и очистки сточных вод (отстойники, аэротенки, фильтры, контактные осветлители и др.);

- изношенность внутристанционных трубопроводов и арматуры, повышенные потери воды внутри станции водоочистки;
- отсутствие обработки промывных вод фильтров, контактных осветлителей, сброс их в окружающую среду;
- отсутствие или неполная обработка осадков станций водоподготовки и очистки сточных вод, загрязнение вследствие этого окружающей среды и невозможность утилизации осадков.

Недостаточно эффективные организационные решения, загрязненность источников воды, износ оборудования и устаревшие энерго- и ресурсоёмкие технологии. приводят к увеличению затрат на водоочистку и водоотведение.

Стратегический взгляд на перспективы развития водоснабжения и водоотведения должен учитывать динамический характер процессов, происходящих в окружающей среде, экономике, социальной сфере и требует учета множества детерминированных и случайных факторов.

Таким образом, развитие и безопасность территории зависит от возможностей обеспечения необходимыми ресурсами (газ, электроэнергия, тепло, вода). В том числе наличие воды может стать одним из обязательных условий для принятия решений о начале строительных работ. Отсутствие достаточного количества надежных источников водоснабжения, а также систем водоотведения и очистки сточных вод, препятствуют экономическому и социальному развитию территории за счет невозможности жилищного и промышленного строительства.

В свою очередь недостаточные темпы строительства и реконструкции объектов водоснабжения и водоотведения являются тормозом для развития территории. Поэтому системы водоснабжения и водоотведения должны рассматриваться в качестве одного из критических инфраструктурных факторов территориальной безопасности.

#### Библиографический список

1. Двоеглазов Д. М. Живучесть и устойчивость предприятий сложной структуры в условиях воздействия внешних рисков, алгоритмы управления и модели адаптации рисков. Интернет-журнал «Науковедение». Том 7, №1 (2015) URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/72TVN115.pdf>
2. Доклады о развитии человека 2006. Что кроется за нехваткой воды: власть, бедность и глобальный кризис водных ресурсов; Пер. с англ. Издательство «Весь мир», 2006. 423 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2012 году». - М.: НИА-Природа, 2013. - 370 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/317/gosdoklad\\_2012.pdf](http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/317/gosdoklad_2012.pdf)
4. Robert M. Clark. Securing water and wastewater systems: global perspectives. Water and Environment Journal 28 (2014) 449–458.



5. Постановление Правительства РФ от 06.03.98 № 292 «Об утверждении концепции федеральной целевой Программы «Обеспечение населения России питьевой водой». [Электронный ресурс]  
Режим доступа: <http://www.vodavsem.ru/page1-9-3.html>

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ТРАНСПОРТНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ТОРГОВО- РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ В ЕКАТЕРИНБУРГЕ**

*Булавина Л.В.*

Ф ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
bulavina@uralweb.ru

*Фадеева А.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

*Рыбакова И.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Торговые (ТЦ) и торгово-развлекательные центры (ТРЦ) привлекают к себе огромные потоки населения на транспорте, и в большей степени на легковых автомобилях, создавая пробки и заторы на загруженных магистралях. При проектировании новых торгово-развлекательных центров необходимо прогнозировать увеличение объемов транспортного движения на обслуживающих магистралях, как правило, требующих реконструкции и изменения схем организации движения.

Практика формирования таких центров характерна для большинства крупных городов мира. С 2004 года, благодаря реализации стратегического проекта «Торговые узлы», она внедряется и в Екатеринбурге. В рамках стратегического проекта разработана схема размещения торговых узлов регионального, городского, районного и местного типов в соответствии с радиусами обслуживания. На сегодняшний день в Екатеринбурге 12 торгово-развлекательных центров. Из них два регионального типа – Гринвич, Мега, пять городского типа – Алатырь, Глобус, Карнавал, Радуга Парк, Фан-фан, пять районного типа – Антей, ЭкоМолл Гранат, Комсомолл, Мегаполис, Парк-Хаус.

Торгово-развлекательные центры в Екатеринбурге в основном расположены на магистральных улицах общегородского значения регулируемого движения, которые являются достаточно загруженными на сегодняшний день. ТРЦ играют в этом не малую роль, притягивая к себе потоки посетителей на легковом транспорте, осложняя тем самым ситуацию.

Изучением формирования транспортных потоков к ТЦ и ТРЦ кафедра Городского строительства занимается с 2005 г. В рамках предыдущих исследований проводились четыре вида обследовательских работ: опрос жителей города для выявления посещаемости различных торговых центров; опрос посетителей ТЦ «КИТ» и МЕГАМАРТ»; изучение загруженности автостоянок; обследование загрузки магистралей и узлов на подходах к ТЦ [1-4]. Для более подробного изучения и анализа транспортной загрузки магистралей и стоянок, обслуживающих ТРЦ были выбраны два объекта – «Алатырь» городского типа в центре города и ТРЦ «Радуга Парк» городского типа в срединной зоне города.

ТРЦ «Алатырь» расположен в восточной части Верх-Исетского района города Екатеринбурга в границах сложившейся застройки и уличной сети – ул. Попова, пер. Медиков, (улицы местного значения) и Московская и Малышева (магистральные улицы общегородского значения). Вместимость подземной и наземной парковок составляет 700 машиномест. Въезд в подземную парковку осуществляется с пер. Медиков, а на наземную парковку – с ул. Московская.

ТРЦ «Радуга Парк» расположен, в юго-западной части Верх-Исетского района в границах улиц Зоологическая (магистральная улица районного значения), Репина, пер. Тульский (магистральные улицы общегородского значения). При проектировании этого центра

была предусмотрена реконструкция существующих улиц Репина, Зоологической и пер. Тульского с учетом предполагаемого увеличения интенсивности движения от него, строительство новой ул. Викулова [5, 6]. Вместимость наземной парковки ТРЦ составляет 2000 машино-мест. Въезды на парковку осуществляются с ул. Зоологическая, ул. Репина, пер. Тульский.

Оба объекта находятся в окружении жилой застройки и привлекают к себе пешеходов посетителей, пассажиров общественного и личного транспорта. Для определения существующей интенсивности транспортных потоков в районе размещения ТРЦ по дням недели и часам суток были проведены натурные обследования на перекрестках и на въездах на автостоянки в рабочие с 16:00 до 20:00 ч и в выходные дни с 10:00 до 22:00 ч.. Максимальный въезд в ТРЦ «Алатырь» в рабочий день зафиксирован с 16:00 до 18:00 ч по 274 ед./ч (39 % от емкости стоянки), максимальный выезд с 18:00 до 19:00 ч – 216 ед./ч (30,9 % от емкости стоянки), максимальная суммарная нагрузка на УДС в период 16:00-17:00 ч составляла 465 ед./ч.

Максимальный въезд в ТРЦ «Радуга Парк» в рабочий день зафиксирован с 18:00-19:00 ч – 1054 ед./ч (52,7 % от емкости стоянок), максимальный выезд с 19:00-20:00 ч – 839 ед./ч (42 %), максимальная суммарная нагрузка на УДС в период 18:00-19:00 и 19:00-20:00 ч составляла по 1819 ед./ч.

В рабочие дни час пик интенсивности движения на самом загруженном перекрестке у въезда в ТРЦ «Радуга Парк», приходится на период 17:00-18:00 ч. у ТРЦ «Алатырь» – на 16:00-17:00 ч, на час раньше, чем в ТРЦ «Радуга Парк». «Алатырь» расположен в центре города, где сосредоточено больше половины всех мест приложения труда, посетители прибывают раньше и уезжают раньше, чем к «Радуга Парк», расположенном в срединной зоне города.

ТРЦ «Радуга Парк» более посещаемый с использованием легкового автомобиля, чем «Алатырь», который в силу перегруженности обслуживающих улиц, неудобного въезда с ул. Московской, расположения на пересечении главных артерий Центральной зоны города, оснащенности общественным транспортом более привлекателен для посетителей, живущих или работающих в этом районе и подъезжающих на общественном транспорте.

В выходной день (воскресенье) обследования загрузки автостоянок ТРЦ проведены с 10:00 до 22:00 ч. Максимальный въезд в ТРЦ «Алатырь» зафиксирован с 13:00 до 15:00 ч по 287 ед./ч в каждый час (41 % от емкости стоянок), максимальный выезд с 14:00 до 15:00 ч составил 300 ед./ч (43 %). Максимальное наполнение стоянки зафиксировано в 18:00 ч и составило 557 автомобилей (80 %% от емкости).

Максимальный въезд в ТРЦ «Радуга Парк» зафиксирован с 17:00-18:00 ч – 913 ед./ч (46 % от емкости стоянки), максимальный выезд с 19:00-20:00 ч – 923 ед./ч (46 %). Максимальное наполнение стоянки зафиксировано в 18:00 часов и составило 1404 автомобилей (70 % от емкости стоянки).

В рабочие дни часы пик посещаемости ТРЦ совпадают с часами пик общей загрузки магистралей города, усугубляя транспортную ситуацию в городе. Период максимальной посещаемости ТРЦ «Алатырь» совпадает с максимальной загрузкой перекрестка ул. Московская – Малышева, пропускная способность которого исчерпана, резервов для увеличения практически нет. Сложившаяся ситуация на магистралях центра, имеющих значительные транспортные потоки, и неудобно организованные подъезды, сказываются на неудобстве поездок в ТРЦ «Алатырь» на автомобиле. Перегрузка улиц Центральной зоны города, насыщенность ее объектами различного функционального значения, многоэтажными офисными зданиями свидетельствуют о нецелесообразности размещения ТЦ и ТРЦ в центральной части города, в связи с большими транспортными потоками автотранспорта к ним, особенно в часы пик.

Пропускная способность улиц и перекрестков, обслуживающих ТРЦ «Радуга Парк», на момент проведения обследований не исчерпана. Проведенными натурными обследованиями подтвердилось, что в час пик въезд на стоянки составляет 50 % от их емкости. Мероприятия, предложенные в 2011 году при проектировании объекта, оказались эффективными на данный момент [5, 6].

Полученные результаты настоящего исследования внедрены при проектировании аналогичных объектов города. Для оценки посещаемости ТЦ и ТРЦ разного типа, потребной емкости автостоянок и определения дополнительной нагрузки на улично-дорожную сеть от посетителей на автомобилях необходимо проводить мониторинг всесезонно, и особенно в рабочие предпраздничные дни.

#### Библиографический список

1. Булавина Л.В., Бобыкина К.Г., Бурдейная Л.О. Изучение особенностей формирования потоков к торговым центрам Екатеринбурга. Е: АМБ, 2007. 247-249 с.
2. Булавина Л.В., Бобыкина К.Г., Бурдейная Л.О. Транспортное обслуживание торговых центров. Е: УГТУ-УПИ, 2007. 232-236 с.
3. Булавина Л.В., Бобыкина К.Г., Бурдейная Л.О. Изучение характеристик потоков к торговым центрам Екатеринбурга. Е: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. 155-158 с.
4. Булавина Л.В., Бобыкина К.Г., Бурдейная Л.О. Свеженцева М.О. Вопросы расчета стоянок у торговых центров. Е: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. 149-152 с.
5. Булавина Л.В., Бородулин А.В., Гареева Ю.Ф., Крючков А.С., Шкляева Е.В. Инженерно-технические мероприятия по реконструкции в районе проектирования торгового центра по ул. Репина в г. Екатеринбурге. Е: УрФУ, 2012. 70-73 с.

6. Булавина Л.В., Бородулин А.В., Гареева Ю.Ф., Крючков А.С., Шкляева Е.В. Оценка транспортной ситуации в районе проектирования торгового центра по ул. Репина в г. Екатеринбурге. Е: УрФУ, 2012. 73-76 с.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ФОРМИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НОВЫХ ЖИЛЫХ РАЙОНОВ ЕКАТЕРИНБУРГА**

*Булавина Л.В.*

Ф ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
bulavina@uralweb.ru

*Логина Ю.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

В рамках Генерального плана городского округа – МО «город Екатеринбург» и его актуализации разработана программа стабилизации и развития существующей и перспективной жилой и общественной застройки на территории города. Особое внимание при развитии транспортной системы города следует уделять зонам развития новых жилых районов, не имеющих на сегодня транспортной инфраструктуры. Развитие перспективной жилой застройки будет формироваться на свободных территориях, расположенных в периферийных районах города, таких как Новокольцовский, Академический, Университетский, ВИЗ-Правобережный, Истокский и др. Соответственно с развитием города растет и уровень жизни населения, а значит остро встает вопрос транспортного обеспечения жителей городского округа..

При строительстве очередного жилого квартала необходимо сразу решать проблему не только пешеходного движения, но и учитывать транспортную загрузку близлежащих узлов и существующих линий общественного транспорта. Чтобы увидеть, как изменится ситуация в будущем, нужно знать сколько жителей, каким способом, в какое время суток, в каком направлении будут выезжать из данного жилого квартала, насколько увеличится загрузка существующих магистралей от вновь образующихся потоков.

В настоящее время в Екатеринбурге недостаточно подобных обследований пассажирских и транспортных потоков из уже застраиваемых новых жилых районов. Транспортное обслуживание, как правило, отстает от темпов застройки районов. Так, например, интенсивно застраивающийся новый жилой район Академический, насчитывающий почти 20 тыс. жителей, испытывает серьезные затруднения в транспортном обслуживании. Проектирование и строительство трамвайных линий затянулось на долгие годы и до сих пор не реализовано.

В связи с этим проведен подробный анализ пассажирских и транспортных потоков, которые образуются от новых жилых образований. Для анализа выбран жилой комплекс «Аврора», который находится обособлено от основной территории города на юго-западе Екатеринбурга в Верх-Исетском административном районе. Численность населения района составляет 5637 чел (по данным ТСЖ района).

Целью работы является получение данных о величине потоков на общественном и пассажирском транспорте, которые формируются при поездках жителей на работу, учебу, по другим культурно-бытовым целям в утренние часы пик и при возвращении в район и вечерние. В рамках настоящего исследования для изучения сложившейся транспортной ситуации в районе обследованы и проанализированы следующие составляющие: размещение, емкость и наполнение стоянок автомобилей в районе; транспортная загрузка улиц на въезде в район



по часам суток в рабочие сутки; размеры пассажиропотоков на сети общественного транспорта, обслуживающего район.

Обследование наполнения стоянок проводилось с 21:00 до 22:00, в то время когда почти все жители вернулись домой. Использовался визуальный метод подсчета количества припаркованных автомобилей на каждой стоянке в каждом дворе и общего количества мест на стоянках. Всего на наземных стоянках паркуется 1761 автомобиль. Наземные парковки рассчитаны на 621 машино-место, вокруг района организовано 7 платных стоянок на 487 машиномест. В районе наблюдается острая нехватка мест хранения для автомобилей. Это приводит к тому, что многие паркуются вдоль внутридворовых проездов, а так же вдоль улицы Анатолия Муранова и создают неудобства как для въезда/выезда из двора, так и для пешеходов. В двух дворах, в которых расположены подземные паркинги, почти нет припаркованных вдоль проездов автомобилей.

Обследование транспортной загрузки улиц на въезде в район проводилось с 7:00 до 21:00 ч. По результатам обследований установлены часы максимальной утренней и вечерней загрузки по выезду и въезду в район и доля потоков в эти часы. Максимальное количество автомобилей выезжает утром с 7:00 до 8:00 ч и составляет 17,9 % от всех выезжающих из района автомобилей за период с 7.00 до 21.00 ч, возвращается вечером с 18:00 до 19:00. – 14,0 %. 19:00 до 20:00. – 14,3 %. Всего за период с 07:00 до 21:00 ч выехало из района и вернулось 3735 автомобилей. В максимальный утренний час выехало 669 легковых автомобилей, при среднем наполнении автомобилей при поездках равном 1,2 чел., это соответствует 800 чел., 14,2 % жителей района.

На перекрестке ул. Светлореченская – ул. Анатолия Муранова.обследования проведены с 7:00 до 10:00 ч и с 17:00 до 20:00 ч . По результатам обследования построены картограммы интенсивности движения на каждый час, по которым произведена оценка уровня загрузки узла.

Обследование пассажиропотоков выезжающих из жилого района «Аврора» с 7:00 до 10:00 часов утра проводилось счетно-глазомерным методом вне подвижного состава. Учитывались входящие и выходящие пассажиры на каждом маршруте остановки общественного транспорта, которая находится на ул. Светлореченская. Выбор именно этого метода обусловлен его простотой исполнения, точность информации достаточно для данной работы. По результатам обследования выяснилось, что, как и на личном транспорте, наибольшее количество жителей выезжает по рабочим и учебным целям с 7:00 до 8:00 часов утра. Их количество составило 205 пассажиров, 20 % от всех выезжающих из района и 3,6 % от всех жителей в утренний час пик воспользовались общественным транспортом.

В рамках настоящего исследования проведено анкетное обследование передвижений жителей района, включающее:

- разработку анкеты опроса жителей района о передвижениях и их тиражирование; распространение анкет среди жителей района при содействии работников ТСЖ;
- сбор заполненных анкет и проверка правильности заполнения;
- формулировка задач обработки результатов;
- компьютерная обработка материалов опроса;
- анализ результатов обследований передвижений жителей района.

Цели анкетирования установить:

- часы суток, когда чаще всего въезжают/выезжают жители района по трудовым и учебным целям;
- процент жителей въезжающих/выезжающих в часы пик;
- основные трудовые и учебные центры притяжения жителей;
- процент жителей передвигается на общественном транспорте, на личном автомобиле и пешком;
- предпочтительность способов передвижений для жителей района;
- определить удобство маршрутов общественного транспорта этого района.

По результатам анкетирования установлено, что при пользовании общественным транспортом, жители района вынуждены до места работы или учебы делать большое количество пересадок – 30 % поездок с 1 пересадкой, 30 % с двумя пересадками, 12 % с тремя и более и только 28 % могут доехать до цели без пересадок. Недостаточное количество беспересадочных маршрутов, обслуживающих район, объясняет, тот факт, что 80 % передвижений на работу и учебу совершается на личном транспорте. Это ожидается и при застройке других новых районов периферийной зоны.

Жителям, передвигающимся на личном транспорте, был задан вопрос об условиях, при которых они готовы пересесть с личного транспорта на общественный.

Ответы:

- если время поездки на общественно транспорте будет меньше, чем на личном – 22 %;
- удобные маршруты с меньшим количеством пересадок – 20 %;
- уменьшится время ожидания общественного транспорта – 19 %;
- общественный транспорт станет более комфортным – 13 %;
- стоимость поездки на общественном транспорте уменьшится – 4 %;
- ничто не заставит пересесть на общественный транспорт – 22 %.

По результатам анкетирования определено время поездки как из дома до места работы или учебы, так и с места работы или учебы до дома и основные районы приложения труда и учебы. 53 % всех опрошенных жителей района работают и учатся в центральной части города, 21 % в близлежащих районах (Юго-западный, ВИЗ Правобережный). Максимальные затраты времени у 90 % опрошенных жителей жилого района до места учебы или работы составили 54 мин., вместо нормативных 43 мин [1]. Только 60 % жителей добираются до работы в течение этого времени, что позволяет сделать вывод о недостаточном уровне транспортного обслуживания района. Доступность до центра города составляет 30-40 мин, до ближайших районов – 20-30 мин. Причины сложившегося положения – удаленность района, перегрузка улично-дорожной сети, недостаточное обслуживание общественным транспортом, дисбаланс числа проживающих трудящихся и мест приложения труда в районе.

По результатам всех обследований составлены рекомендации по определению транспортных и пассажирских потоков, формирующихся в жилых образованиях.

1. Проектировать нормативное количество транспортных стоянок для временного и постоянного хранения автомобилей.

3. Повысить уровень обслуживания района общественным транспортом для снижения доли поездок на легковом.

4. В утренний час пик из жилых образований суммарный выезд составляет 18–20 % от численности населения района.

5. Создавать в районе и ближайших к нему места приложения труда в радиусе 30–40-минутной доступности.

Эти рекомендации были применены для проектирования нового жилого района «Уктус-Левобережный», который находится в границах улиц Павлодарская – русло р. Исеть – продолжение пер. Гончарный - ул. Щербакова в Чкаловском районе Екатеринбурга.

#### Библиографический список

1. Свод правил СП 42.13330.2011 «СНиП 2.07.01-89\* «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» (утвержден приказом Министерства регионального развития Р.Ф. от 28.12.2010 г. № 820).



**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА**

*Галиева А.Б.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
khannabor@gmail.com

*Алехин В.Н.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
referetsf@yandex.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Одной из актуальных проблем строительной отрасли является проблема обеспечения безопасности. В г. Екатеринбург активно ведется точечная застройка, в том числе вблизи существующих эксплуатируемых подземных сооружений. Примерами такой застройки является возведение жилого дома по ул. Фучика над линиями метрополитена вблизи станции «Ботаническая» или строительство многоквартирного жилого дома с нежилыми помещениями и подземной автостоянкой по ул. Челюскинцев над участком тоннеля метрополитена между станциями «Динамо-Уральская». Между тем, тоннели метрополитена являются уникальными, технически сложными сооружениями, а также стратегически важными для мегаполиса объектами, от надежности конструкций которых зависит безопасность населения. Это обуславливает необходимость мониторинга их технического состояния для своевременного принятия мер по устранению возможных негативных факторов, которые могут привести к ухудшению этого состояния.

Осенью 2014 г. специалисты УрФУ начали работы по обследованию и мониторингу обделки туннелей метрополитена на участке путей между станциями «Динамо-Уральская». По заданию заказчика необходимо было исследовать участки тоннелей под строящимся на поверхности земли зданием и определить геометрические параметры объекта. В последующем эти данные сравнивались с проектными данными. По заданию ОАО «Уралгипротранс», для каждого кольца тоннельной обделки определялась эллиптичность по четырем диаметрам: горизонтальному, вертикальному и двум косым под углом 45° (см. рис. 1). Деформации конструкций обделок не должны нарушать габарит приближения строений [1].

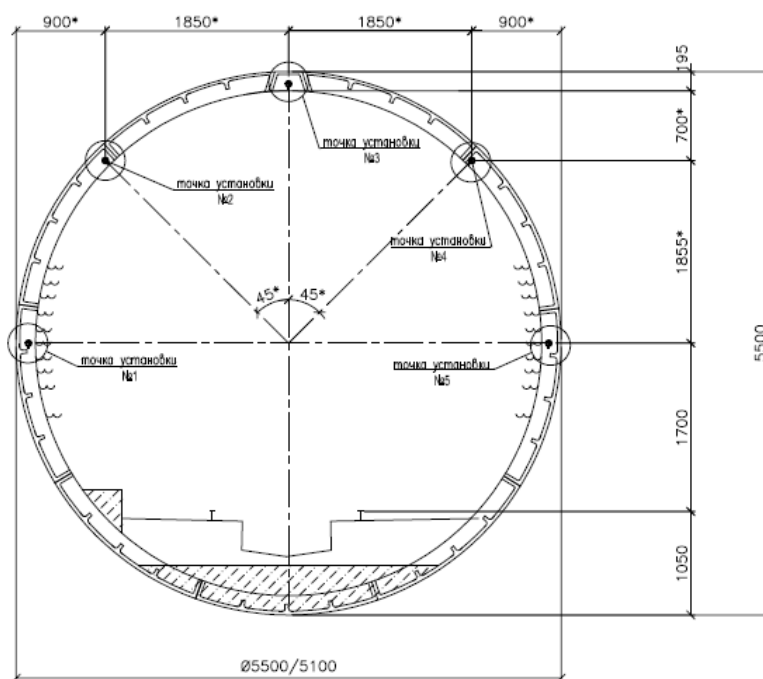


Рис. 1. Схема установки деформационных марок для определения эллиптичности обделки тоннелей

Поскольку тахеометрическая съемка по пяти точкам обделки не дает полную картину деформированного состояния колец тоннелей, специалистами УрФУ было принято решение выполнить трехмерное лазерное сканирование объекта тахеометром нового поколения Leica MS50. Пример результата работ приведен на рис. 2.



Рис. 2. Пример отсканированного кольца обделки тоннеля метрополитена

Обследование тоннелей путем лазерного сканирования позволило более детально изучить характер деформаций объекта, выявить «слабые» места. Кроме того, полученная трехмерная модель тоннеля может служить основой для создания информационной модели сооружения. Для обработки данных применялось лицензионное программное обеспечение Leica Cyclone, Leica Infinity.

Следующим этапом работ стало проведение мониторинга объекта посредством тахеометрии. С периодичностью не реже одного раза в месяц проводятся наблюдения за деформационным состоянием конструкций. На ребра тюбингов, кроме прочего, установлены тензометрические датчики для наблюдений за изменением напряжений в чугунной обделке тюбингов в процессе строительства здания на поверхности земли. Весной 2015 г. под фундаментную плиту строящегося жилого дома установлены датчики давления на грунт.

В настоящее время работы по мониторингу объекта продолжаются, накапливается статистическая информация по поведению тюбингов метрополитена. Своевременный анализ поведения конструкций подземного сооружения позволяет производить оценку влияния на него нового строительства и разрабатывать решения, препятствующие развитию негативных процессов.

#### Библиографический список

ГОСТ 23961-80 «Метрополитены. Габариты приближения строений, оборудования и подвижного состава».

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БАРИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛЭП ПРИ АВАРИЯХ НА БЛИЗЛЕЖАЩЕМ МАГИСТРАЛЬНОМ ГАЗОПРОВОДЕ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА**

*Демидович К.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

*Гурьев Е.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

*Полуян Л.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

*Тимашев С.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Одним из перспективных направлений развития газовой отрасли является освоение месторождений на полуострове Ямал, в ходе реализации которого начато строительство завода по производству сжиженного природного газа. Однако, расширение географии деятельности, помимо стратегических преимуществ, предполагает и возникновение ряда проблемных аспектов. В связи с высокой опасностью объектов, использующих природный газ в его различных состояниях, необходимы не только тщательный контроль качества выполняемых операций, от процесса его добычи до эксплуатации трубопроводов и распределения; но и комплексный риск-ориентированный подход к выбору материально-технического оснащения проектов газовой промышленности на стадии проектирования.

Удаленность осваиваемого региона от заселенных территорий и суровые климатические условия обуславливают необходимость проведения анализа риска на всех этапах жизненного цикла критичных объектов инфраструктуры полуострова Ямал. Особое внимание необходимо уделить анализу риска на стадии проектирования, ввиду того, что на этой стадии принимаются решения о размещении объектов, взаимной удаленности и влияния друг на друга.

Работа посвящена сравнительному анализу методик барического воздействия от ВУВ на элемент критичной инфраструктуры (в нашем случае на опору ЛЭП, находящуюся рядом с проходящим участком магистрального газопровода (МГ)), выявлению соответствия качественных характеристик повреждений их количественным аналогам, анализу риска при аварии на МГ.

В настоящее время существуют различные подходы и методики для расчетов воздействия поражающих факторов на окружающее пространство, возникающих при взрыве ТВС. Так как точность получаемых результатов при подобных расчетах может иметь жизненно важное значение для объектов воздействия, необходимо быть уверенным в достоверности сведений, вносимых в Декларацию промышленной безопасности критичной инфраструктуры и другие документы. Различия в существующих подходах этих методик побудили сделать их сравнение для расчета параметров взрыва и его последствий [1, 2].

Расчет барического воздействия по методике [2]. Методика оценки параметров и последствий барического воздействия при авариях с выбросом газообразного метана на опасных производственных объектах позволяет провести оценку различных параметров воздушных волн сжатия и воздушных ударных волн, возникающих при аварийной разгерметизации сосудов, другого технологического оборудования и трубопроводов с газообразным метаном под давлением с дальнейшим воспламенением или при отсутствии воспламенения газового выброса, а также приближенную оценку степени устойчивости (степени поврежде-



ния) зданий и сооружений от ударно-волнового воздействия. Методика носит инженерный характер.

Процедура оценки устойчивости объектов воздействия к барическим нагрузкам сводится к анализу положения точки с координатами реализуемых на объекте воздействия импульса и избыточного давления (точки воздействия) на  $P-i$  диаграмме по отношению к соответствующей линии равновероятного повреждения. Например, расположив опору ЛЭП на расстоянии 30 м от оси газопровода, получаем значения давления и импульса, соответственно, 38,5 кПа и 0,272 кПа·с. Анализ диаграммы в этом случае позволяет сделать вывод о характере разрушений опоры.

Расчет барического воздействия по методике РД 03-409-01 [1]. Для определения величины избыточного давления на заданном расстоянии использовался ПК «ТОКСИ+риск, версия 4.3», модуль «Взрыв ТВС». Основным исходным параметром является количество вещества, участвующего во взрыве. Согласно [5], для определения параметров взрывной ударной волны (ВУВ) при гильотинном разрыве трубопровода расчет производится для объема газа, содержащегося в 70 м трубы при диаметре 1220 мм. Вычислены объемы и массы природного газа для трех случаев разрыва МГ:

- при разрыве вблизи компрессорной станции (КС1) (принято давление 7,5 МПа);
- при разрыве между КС1 и КС2 (принято среднее давление в газопроводе, равное 7,003 МПа);
- при разрыве вблизи КС2 (минимальное давление 5,5 МПа).

Получены размеры зон поражения и соответствующие им значения избыточного давления, а также значения давления и импульса положительной фазы сжатия на расстоянии 30 м – предполагаемое место установки опоры ЛЭП в соответствии с нормативами.

Анализ данных, полученных при расчете по методике РД 03-409-01, показал, что наибольшее значение избыточного давления составляет 11,57 кПа, которое сохраняется на расстоянии до 47 м от эпицентра взрыва. Соответствующее значение импульса – 20019 Па·с. Таким образом, согласно диаграмме для оценки уровня разрушения промышленных зданий и сооружений [1] опоры ЛЭП, расположенные на расстоянии 30 м от газопровода (эпицентра взрыва), попадают в зону значительных повреждений.

Так как нет четкого понимания определения зоны «значительных повреждений», остается неясным вопрос о том, как вышеназванные дефекты, полученные от воздействия ВУВ повлияют на устойчивость конструкции опоры ЛЭП и повлечет ли данная авария за собой нарушение эксплуатации критически важного объекта.

Для этого в работе выполнены расчеты элементов конструкции опоры ЛЭП на воздействие ВУВ в ПК «ЛИРА-САПР.2013» [3]. Они свидетельствуют о соответствии результа-

тов характера повреждения элементов опоры ЛЭП расчетам, выполненным по методикам [1, 2]. Проверка на прочность и устойчивость по двум предельным состояниям свидетельствуют о потере местной устойчивости сжатых стоек, однако опора ЛЭП способна и после таких повреждений воспринимать расчетную нагрузку, опрокидывания конструкции не произойдет. Следовательно, она является ремонтпригодной и произошедшая авария на электро-снабжение региона не повлияет.

При оценке риска по программному комплексу [4] изучено влияние поражающих факторов от аварии на трубопроводе, транспортирующем природный газ с месторождения на завод по его сжижению, на опоры ЛЭП с целью определения минимального безопасного расстояния между объектами. Результаты расчета показали, что оба объекта (МГ и ЛЭП) находятся в зоне приемлемого риска.

#### Библиографический список

1. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей» РД 03-409-01, утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 26.06.2001 № 25. (Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах: Сборник документов. Серия 27. Выпуск 2 / Колл. авт. – 3-е изд., испр. И доп. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. – 208 с.)
2. Методика оценки параметров и последствий барического воздействия при авариях с выбросом газообразного метана на опасных производственных объектах. Утвержден генеральным директором ООО «Газпром ВНИИГАЗ» П.Г. Цыбульским. РД 03-409-01.
3. Программный комплекс ЛИРА-САПР – 2013г.
4. ПК «ТОКСИ+риск, версия 4.3».
5. СТО Газпром 2.2.3.351.2009.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# СТОХАСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЖИВУЧЕСТИ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Дружинин П.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

*Тимашев С.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Одной из важнейших тенденций современного градостроительства является бурный рост числа возводимых высотных зданий и сооружений (ВЗиС). Поэтому оценка их живучести и безопасности становится первоочередной задачей, особенно если учесть их повышенную уязвимость в современной общемировой обстановке. В научном плане эта ситуация настоятельно требует переоценку результатов анализа инженерной безопасности высотных элементов гражданской инфраструктуры мегаполисов. Такие исследования позволят оценить живучесть ВЗиС при действии проектных и запроектных воздействий, а в экстренных случаях – иметь четкий план действий, направленный на сведение к нулю людских и экономических потерь вследствие катастрофы небоскреба. Ввиду разнообразия стохастических сценариев развития событий, влияющих на степень получаемого объектом повреждения, а также естественного разброса механических свойств материалов и геометрии элементов конструкции, жесткостных характеристик соединений его элементов, качества возведения и монтажа и т. п., такие широкомасштабные исследования необходимо проводить в вероятностной постановке. Наиболее эффективен при этом метод Монте-Карло, особенно при сочетании с методами специального выбора расчетных точек (сэмплирование).

Реализации исследуемого случайного процесса развития аварии для него могут быть получены различными способами: аналитическими методами – там, где это возможно, и с помощью метода конечных элементов в случае более сложных задач.

В данной работе живучесть высотных зданий исследована путем проведения численных расчетов, которые реализованы в пакете LS-DYNA – одном из наиболее эффективных конечно-элементных пакетов, позволяющих решать задачи динамики (в том числе и задачи о взрывных воздействиях). В работе представлены результаты предварительных пилотных исследований данной проблемы. Авторский подход к решению сформулированной выше проблеме продемонстрирован на примере конечно-элементной модели реального сооружения – железобетонной башни «Исеть» в г. Екатеринбурге, нагруженной взрывным воздействием. Эта модель была любезно предоставлена авторам кафедрой САПРОС строительного института УрФУ.

С появлением новых возможностей и ростом производительности вычислительных программных комплексов повышается и интерес ученых и инженеров к подробному исследованию влияния взрывов на целостность высотных железобетонных конструкций. Современные версии программ конечно-элементного моделирования обладают полным набором инструментов для всестороннего анализа статических и динамических воздействий на строительные конструкции. Зачастую для моделирования высокоскоростных кратковременных воздействий (удары, взрывы, землетрясения), сопровождающихся большими перемещениями, деформациями и разрушениями, используется пакет LS-DYNA. Назначение в нем метода

решения, выбор типов конечных элементов, степени детализации задачи и моделей материалов зависит от множества факторов, среди которых одними из наиболее существенных являются локализация области интересов (целая конструкция или ее элемент), и свойства материалов. Таким образом, можно выделить несколько обобщенных подходов к решению задачи о живучести ВЗиС при взрывных воздействиях.

1. Рассмотрение отдельных наиболее важных элементов строительной конструкции, таких как колонны. При этом создается подробная модель из объемных конечных элементов, имитирующих бетон, с «погруженными» в них балками, представляющими собой армирующие бетон элементы. Такая постановка позволяет учитывать воздействие ударной волны непосредственно на конечные элементы.

2. Моделирование полноразмерной конструкции также с помощью совместно работающих объемных и балочных элементов. Этот подход используется редко, так как время счета, как правило, оказывается неприемлемым и требует наличия существенных вычислительных ресурсов.

3. Метод, тоже рассматривающий полноразмерную конструкцию, однако, в более упрощенной постановке. В этом методе трудоемкость вычислений снижается за счет использования соответственно, балочных и оболочечных элементов для моделирования колонн, перекрытий и стен. Структура армирования здесь учитывается опосредованно с помощью «размазывания» свойств армирующих элементов в объеме бетона. Затруднение вызывает отсутствие влияния ударной волны на балочные элементы колонн, ввиду отсутствия у них физической поверхности. В этом случае в момент взрыва напрямую удаляют из модели соответствующие элементы.

4. Метод, объединяющий первый и третий подходы. Целостность несущих элементов, находящихся в зоне поражения, анализируется первым методом. После чего используют третий метод, где элементы колонн удаляют согласно результатам первого расчета [1].

Расчетная модель. Выбор расчетной методики для данного исследования обусловлен возможностями в плане моделирования той или иной реальной строительной конструкции. Решение использовать именно реальную модель вызвано необходимостью получить адекватные результаты, которые в дальнейшем можно непосредственно применять на практике. Таким образом, в качестве основы для создания расчетного полигона в пакете LS-DYNA взята конечно-элементная модель башни «Исеть» (г. Екатеринбург), предоставленная Строительным институтом Уральского Федерального Университета [2].

Сеточная модель здания создана с применением балочных и оболочечных элементов с заданными соответственно сечениями колонн и толщинами перекрытий и стен. Таким обра-

зом, в соответствии со спецификой применяемых типов конечных элементов для анализа взрывного воздействия выбрана четвертая расчетная методика.

Выбор модели материала. В пакет LS-DYNA заложено большое количество математических моделей, описывающих поведение бетона и предназначенных для разных случаев нагружения. Среди них есть модели, позволяющие на уровне механических свойств учитывать армирование бетона. Практически все модели позволяют учитывать предельные состояния материалов, и тем самым, имитировать разрушение конструкции. Однако, большинство этих моделей предназначено лишь для использования с объемными конечными элементами. Для балочных и оболочечных элементов в пакете LS-DYNA имеется специализированный тип материала, в котором опосредованным образом возможен учет армирующих элементов с учетом их разрушения. В терминах LS-DYNA эта модель называется \*MAT\_CONCRETE\_EC2. «EC2» здесь означает, что ее математическая формулировка и эмпирические зависимости соответствует Европейскому Стандарту «Eurocode 2: Design of concrete structures» на строительство конструкций из бетона. Согласно руководству к пакету LS-DYNA, для адекватной оценки прочности с помощью данной модели достаточно задать семь параметров: механические свойства бетона и материала армирующих элементов, а также доля арматуры в единице объема основного материала.

Тестовый расчет. Как в тестовом, так и в рабочем случаях расчет должен выполняться как минимум в два шага. На первом шаге проводится статический анализ, из которого получается напряженное и деформированное состояние здания от действия собственного веса. Оно затем в качестве начального состояния автоматически передается в динамический анализ для расчета здания на взрывное воздействие.

В тестовом режиме отработано проведение расчета осадки здания под собственным весом и переход к динамическому решению. Для моделирования динамического воздействия были удалены три колонны на нижнем уровне башни. Также в ходе обоих шагов расчета проверена правильность работы соединений балочных и оболочечных элементов.

Просчитано было 0,23 секунды реального времени аварии, за которые поврежденные колонны разгрузились, и башня начала крениться в их сторону. Адекватность результатов тестового расчета говорит о возможности использования подготовленной модели в дальнейшем исследовании.

Дальнейшая работа по данному направлению проводится в два последовательных этапа. Первый заключается в создании в LS-DYNA универсального расчетного полигона на базе существующей конечно-элементной модели, который позволяет с минимальными затратами времени получать результаты максимально адекватные реальности не только при расчете взрывных, но и других техногенных и природных воздействий, таких как пожар или

землетрясение. Для этого перестроена сетка конечных элементов в соответствии со спецификой явных методов решения, и в получившейся модели использована описанная выше математическая модель железобетона с реальными механическими свойствами.

На втором этапе работы планируется проведение стохастического анализа по методу Монте-Карло с целью оценки причиненного ущерба от того или иного сценария развития аварии. Для него потребуются серии детерминированных расчетов с различными комбинациями значений случайных параметров (с известными функциями плотности вероятности) на базе подготовленного на предыдущем шаге расчетного полигона. Наборы значений для варьируемых параметров планируется получать с помощью методов сэмплирования.

#### Библиографический список

1. Elsanadedy H.M., Almusallam T.H., Alharbi Y.R., Al-Salloum Y.A., Abbas H. Progressive collapse potential of a typical steel building due to blast attacks. *Journal of Constructional Steel Research*, 2014, 101, 143-157.
2. Алехин, В.Н. Метод расчета зданий и сооружений при многокомпонентном сейсмическом воздействии / В.Н. Алехин, О.Ю. Ушаков, А.В. Колесников // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2014. – № 5. – С. 31-36.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ РАМ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ С ПЕРФОРАЦИЕЙ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И РЕГУЛИРОВАНИЕМ УСИЛИЙ В ФИЗИЧЕСКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОСТАНОВКАХ**

*Зубрицкий М.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
zubrickiy\_maksim@mail.ru

*Алехин В.Н.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
referetsf@yandex.ru

*Плетнев М.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
pletnev.mv@yandex.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**



Стальные рамные конструкции переменного сечения представляют собой несущие конструкции, как правило, из элементов двутаврового сечения. Применение данных конструкций позволяет значительно снизить металлоемкость, сохраняя при этом архитектурную выразительность и гибкость объемно-планировочных решений. В настоящее время сплошностенчатые конструкции переменного сечения получили широкое применение в одноэтажных зданиях с мостовым крановым оборудованием и без него.

Вопросами оптимального проектирования стальных конструкций переменного сечения ученые занимались достаточно широко [1, 3, 4]. Математическое моделирование строительных конструкций производилось с использованием стержневых КЭ, что требовало точной аппроксимации элементов переменного сечения [4]. Данная методика при итерационном процессе является весьма трудозатратной. В исследовании [5] был разработан программный комплекс определения оптимальных значений проектных параметров стальных порталных рам, в котором элементы аппроксимированы стержнями переменной жесткости. Это позволило значительно редуцировать временные затраты при расчете и оптимизации конструкции. Однако множество таких явлений, как местная потеря устойчивости, нетривиальная геометрия конструкции (криволинейные очертания элементов конструкции), элементы конструкции с отверстиями (перфорация), могут оказывать значительное влияние на поведение конструкции и не могут быть в значительной мере учтены при численном моделировании с использованием стержневых конечных элементов.

Хотелось бы отметить, что большинство научных работ по оптимизации стальных конструкций переменного сечения выполнены в физически линейной постановке. Исследование конструкций с использованием пластического резерва несущей способности позволяет изучить процессы деформирования конструкций в упругопластической стадии работы материала, что является одним из эффективных путей создания экономичных стальных конструкций.

Таким образом, в рамках данного исследования для математического моделирования порталных рам с учетом вышеупомянутых требований и ограничений используются пластинчатые конечные элементы. В качестве закона деформирования стали принята билинейная диаграмма. Опираясь на исследования [6, 7], направленные на определение оптимальной формы отверстий перфорации, принята геометрия отверстия, представленная на рис. 1. Применение перфорации позволяет значительно увеличить соотношение жесткость/металлоемкость конструкции. Также балки с перфорацией эллиптическими отверстиями имеют большую несущую способность при действии поперечной силы в сравнении с «тривиальными» круглыми или трапецевидными отверстиями. Данный эффект достигается редистрибьюцией напряжений в стенке вблизи отверстий.

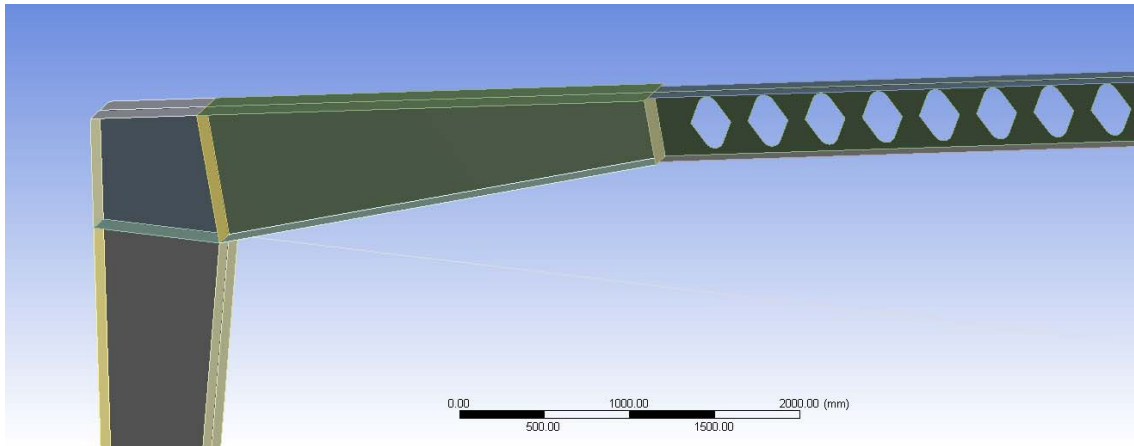


Рисунок 1 – Ригель рамы переменного сечения

Другим конструктивным решением, направленным на уменьшение стоимости конструкции является предварительное напряжение [2]. Предварительное напряжение в конструкции создается при помощи горизонтальной затяжки, концы которой расположены в узле сопряжения колонны и ригеля. При данном техническом решении эпюра моментов становится более благоприятной, уменьшаются абсолютные значения опорных и пролетных изгибающих усилий. При устройстве затяжки стойка (колонна) также получает разгрузку от предварительного напряжения, но при этом затяжка уменьшает полезную высоту помещения, но в некоторых зданиях, как, например, в плавательных бассейнах, выставочных павильонах, складских помещениях и др. это допустимо. Общий вид расчетной математической модели представлен на рис. 2.

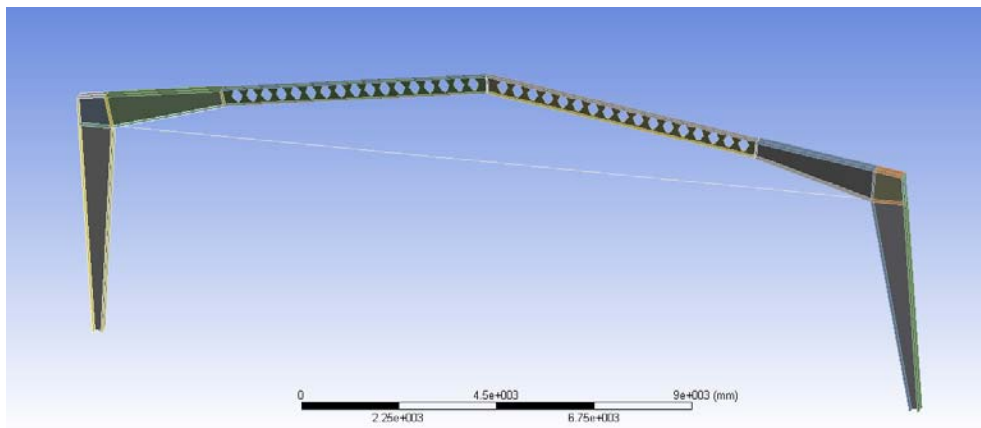


Рисунок 2 – Общий вид рамы переменного сечения

За целевую функцию принята стоимость конструкции, включая затраты на сборку и изготовление элементов. Данную комплексную задачу оптимизации возможно решить с применением стохастических методов оптимизации, а именно «генетического алгоритма». Данный алгоритм достаточен для нахождения нескольких решений, вполне приемлемых для решения практических задач.

На основании «генетического» алгоритма была поставлена и решена задача оптимизации по критерию минимальности стоимости металлоконструкции «в деле». Поиск опти-

мального решения включает в себя определение очертания (геометрии) рамы как в целом (включая место стыка ригеля), так и конфигурации отдельных элементов, определение формы эллиптических отверстий перфорации ригеля и величины предварительного напряжения затяжки. Данная математическая модель позволяет выполнить комплекс расчетов как статических, так и конструктивных с учетом пластических деформаций элементов рамы и, при необходимости, в геометрически нелинейной постановке.

#### Библиографический список

1. Алехин В.Н., Антипин А.А., Буздыган О.Ю., Митюшов Е.А. Автоматизированное оптимальное проектирование рам с элементами переменной жесткости //Строительство и образование: Сб. научн. трудов. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2000. – Выпуск 4 – С.56-58.
2. Бирюлев В.В., Добрачев В.М. Экспериментальные исследования неразрезных сквозных двутавровых балок с регулированием напряжений. //Известия вузов. Строительство и архитектура – 1981, № 11, С. 3-7.
3. Бирюлев В.В., Новиньков А.Г. Экспериментальные исследования местной устойчивости элементов рамных конструкций переменного сечения. //Известия вузов. Строительство и архитектура – 1990, № 7, С. 123-126.
4. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство). — М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2005. — 656 с: ил.
5. Мосин А.М. Оптимальное проектирование упругодеформируемых стальных порталных рам с элементами переменной жесткости на основе генетического алгоритма. Дисс... канд. техн. наук – Екатеринбург, 2005, 127 с.
6. Tsavdaridis KD, D'Mello C. Optimization of Novel Elliptically-Based Web Openings Shapes of Perforated Steel Beams. Journal of Constructional Steel Research, 2012.
7. Tsavdaridis KD, D'Mello C. Web Duckling Study of Behavior and Strength of Perforated Steel Beams with Different Web Openings Shapes. Journal of Constructional Steel Research, 2011; 67(10): 1605-1610, DOI: 10.1016/j.csr.2011.04.004.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **МОНИТОРИНГ ДЕФОРМИРУЮЩИХСЯ УЧАСТКОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ**

*Кольцов П.В.*

ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург,  
Kpavel@umbr.ru

*Иванов Ю.С.*

ОАО «Уралмеханобр», г. Екатеринбург,  
Kpavel@umbr.ru

*Пыхтеева Н.Ф.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
referetsf@yandex.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Выемка законтурных запасов руды представляет значительный интерес, поскольку добыча руды производится без каких-либо существенных капиталовложений. В виду особенностей строения меднорудных месторождений (неправильные формы рудных тел и наличие сопровождающих мелких залежей) значительная часть рудных запасов остается в бортах и дне карьера (от 5 до 20 млн.т). Естественно, при доработке карьеров возникает вполне резонный "соблазн" по их выемке, что достаточно успешно осуществляется по локальным [1] проектам на ряде карьеров (Блявинский, Сибайский, Учалинский и др.) и позволяет дополнительно добыть 2–7 млн.т. руды карьерами, эксплуатационный ресурс которых к этому времени обычно почти полностью исчерпан.

Наиболее важным фактором при разработке вариантов отработки прибортовых запасов полезных ископаемых является устойчивость подрабатываемых бортов карьеров, поскольку выемка дополнительных объемов ведет, как правило, к нарушению устойчивости вышележащего массива. Однако, выемка законтурных запасов полезных ископаемых имеет некоторые особенности, позволяющие с определенным риском обеспечить полноту отработки недр - это точечное воздействие (боковой распор), срок отработки, отсутствие в пределах призмы обрушения охраняемых объектов, длительные инструментальные наблюдения.

Наличие вышеперечисленных факторов позволяет обосновать возможность выемки прибортовых запасов на локальных участках в короткие сроки (до 3-х лет) при минимально допустимых коэффициентах запаса устойчивости ( $\geq 1.1$ ).

Для расчета параметров устойчивости бортов разрезов во ВНИМИ разработаны и введены в «Правила» [2] схемы и графики поправок к углу наклона прямолинейного в плане откоса от длины зажатого участка.

Срок отработки имеет важное значение для уменьшения нормативного коэффициента запаса, вводимого в расчеты при отсутствии в призме возможного обрушения охраняемых сооружений, поскольку позволяет существенно увеличить угол погашения рабочего борта и закончить горные работы на локальном участке до проявления существенных деформаций.

Комплексный учет всех факторов, влияющих на устойчивость бортов карьеров, позволяет оценить возможность выемки законтурных запасов и разработать открытую или подземную технологию их отработки с обеспечением устойчивости бортов на определенный срок.

Обязательным фактором, сопровождающим отработку месторождения на протяжении всего срока эксплуатации карьеров, являются инструментальные маркшейдерские наблюдения. Все технические решения, связанные с изменением контуров карьера должны основываться как на расчетных данных по оценке устойчивости, так и на данных практических наблюдений по профильным линиям. Особенно это утверждение актуально при отработке

прибортовых запасов, так как массив имеет состояние близкое к предельному, что необходимо учитывать при решении задачи постановки маркшейдерских инструментальных наблюдений.

Исследованиями деформационных процессов в прибортовых массивах установлено, что разрушению бортов предшествуют развивающиеся в течении длительного времени деформации, появление которых не является признаком обязательного разрушения борта. Следовательно, на деформирующихся бортах можно вести горные работы до появления видимых трещин и заколов, контролируя маркшейдерскими наблюдениями скорости деформирования откосов. Для надежной оценки степени опасности развивающихся деформаций и оценки устойчивости бортов принимают критические скорости прибортового массива, которые устанавливаются в процессе маркшейдерских инструментальных наблюдений [3].

Однако задача постановки инструментальных наблюдений на деформирующихся участках осложняется следующими факторами:

- отсутствие возможности заложения профильной линии по нормали к борту из-за недоступности вышележащих берм;
- опасность нахождения исполнителя на деформирующемся участке;
- значительной системной ошибки наблюдений, при использовании безотражательного режима тахеометров;
- реперы, расположенные параллельно участку деформации, не в полной мере отражают схему деформирования массива.

Для получения достоверной схемы деформирования массива предлагается методика безотражательных наблюдений за деформирующимися недоступными участками бортов карьеров, основанная на применении технологий лазерного сканирования.

Суть методики заключается в создании трехмерной модели исследуемого участка, позволяющей с достаточной точностью фиксировать изменение состояния массива по условным профильным линиям. Профильные линии являются либо условными, поскольку их положение и количество ограничивается только границами созданной модели, либо привязаны к деформационным реперам, расположенным по периметру карьера.

Суть наблюдений сводится к координатной привязке и сканировании участка исследований (зоны деформаций) с достаточной для обеспечения адекватности моделирования плотностью наблюдений. Периодичность сканирования определяется исходя из стадии деформационных процессов. По результатам каждой серии сканирования рассчитывается трехмерная модель исследуемого участка. Поскольку координаты участка известны, то при совмещении моделей нескольких серий наблюдений можно проследить динамику развития оползневых процессов. На модели выбирается несколько перпендикулярных борту профиль-

ных линий, по которым оценивается скорости и величины смещений. Кроме того по результатам моделирования рассчитывается объем ( $\text{м}^3$ ) деформаций между исходной серией и последующими наблюдениями.

Методика безотражательных наблюдений за деформирующимися участками бортов карьеров опробована в промышленных условиях на Сибайском, Юбилейном, Султановском и Учалинском карьерах (Башкирия). Для проведения сканирования использовался роботизированный тахеометр Trimble S6, а с конца 2011 года в производство работ внедрен лазерный сканер Riegl VZ – 1000 с производительностью до 122 000 точек в секунду и дальностью сканирования до 1400 метров, что значительно расширило область применения и надежность результатов моделирования.

Применение методики на Сибайском карьере позволило уточнить схему деформирования массива.

Анализ результатов лазерного сканирования показал, что деформации уступа проходили по плавной поверхности скольжения с образованием просядок в верхней и выпиранием горной массы в нижней части уступа. Результаты лазерного сканирования показали, что основные деформации в виде обрушений и частичного разрушения берм безопасности произошли после подработки систем скрытых трещин. Дальнейшего развития деформационных процессов не происходило, что подтверждается также наблюдениями по реперам, заложенным вдоль деформирующегося участка.

Методика безотражательных наблюдений внедрена в комплексную систему мониторинга на Учалинском, Султановском и Юбилейном карьерах и дополняет классическую систему наблюдений по реперам. Сходимость результатов безотражательных наблюдений с результатами классического мониторинга позволяет сделать выводы о возможности их внедрения в производственный процесс как самостоятельных наблюдений.

Проведенные исследования показали, что методы лазерного сканирования, при определенных условиях, позволяют получить достоверную информацию о состоянии деформирующегося участка борта. Все наблюдения с помощью лазерного сканирования по возможности дублировались традиционными наблюдениями по реперам, что позволило оценить адекватность результатов.

Во всех случаях, на основе сходимости результатов подтверждаются закономерности развития деформационных процессов, фиксируемые классическими наблюдениями по реперам и данными лазерного сканирования. Однако за счет возможности проведения объемного анализа представительность данных сканирования значительно выше, поскольку отражает все изменения конфигурации исследуемого участка.

Таким образом, применение методов лазерного сканирования является одним из наиболее эффективных и безопасных способов проведения инструментальных наблюдений на деформирующихся участках бортов карьеров и отвалов. Внедрение в системы мониторинга трехмерных лазерных сканеров существенно повышает скорость съемки и точность моделирования.

Полноценное освоение недр невозможно без теоретической проработки возможности выемки и эффективных систем мониторинга, позволяющих установить и предупредить опасные деформации на ранней стадии.

#### Библиографический список

1. Соловьев А.А., Зобнин В.И. Схемы выемки законтурных запасов руды на карьерах // Известия вузов. Горный журнал. – 2007. - № 5.
2. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах / Гос. НИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела. – Утв. Госгортехнадзором РФ 16.03.1998. – СПб., 1998. – 208 с.
3. Туринцев Ю.И. Разработка, исследование и внедрение инженерных методов управления и способов контроля устойчивости бортов меднорудных карьеров / Дисс. ... доктора техн. наук. - Л.: ЛГИ. 1975.





**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **СОЛНЕЧНО-ТОПЛИВНАЯ КОТЕЛЬНАЯ С ГЕЛИОСИСТЕМОЙ ДЛЯ ГВС**

*Косых А.Н.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
kafedratgiv@yandex.ru

*Колпаков А.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
kafedratgiv@yandex.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

В области энергоустановок на основе возобновляемых видов энергии наиболее стабильное и планомерное развитие наблюдается в производстве и применении гелиотехники. Только в Китае к 2015 г. общая мощность действующих гелиоустановок достигла 28,05 ГВт, в том числе мощность солнечных электростанций составила 23,38 ГВт, а мощность распределенных солнечных установок 4,67 ГВт. Эта тенденция имеет нарастающий характер: в 2015 году в стране планируется сдать в эксплуатацию новые солнечные установки мощностью 15 ГВт.

В силу объективных географических причин и наличия больших запасов углеводородного сырья развитие солнечной энергетики в России идет существенно меньшими темпами. Тем не менее, имеются достаточно большие по площади регионы, где экономически оправданное применение гелиоустановок может обеспечить экономию топлива и снабжение потребителей экологически чистой энергией. К ним относятся Южный, Крымский и Дальневосточный федеральные округа, а также Республика Саха (Якутия).

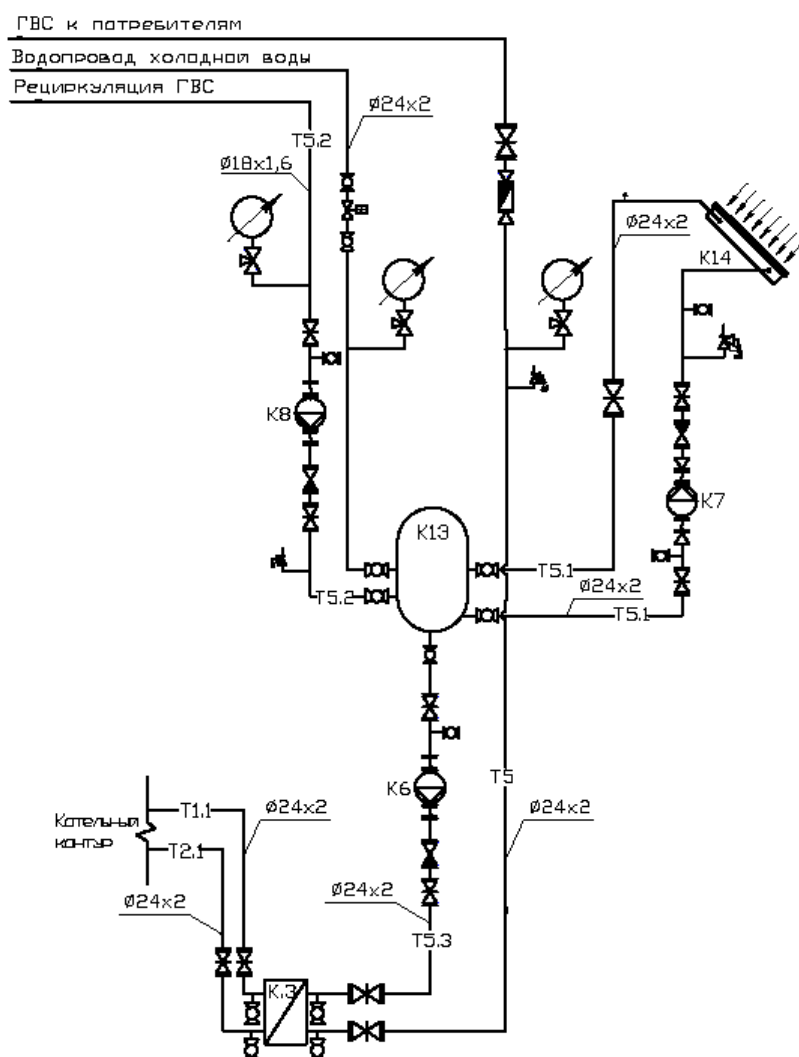
Лидирующие позиции в России в этом отношении занимает Краснодарский край, где продолжительное время ведутся исследовательские и проектные работы в области солнечной энергетики, обучаются специалисты по гелиотехнике и осуществляется ее производство. Отсюда достаточное количество примеров многолетней успешной эксплуатации гелиоустановок, в том числе в котельных, на долю которых приходится 25 % распределенных солнечных установок [1].

При действующих тарифах на тепловую и электрическую энергию приемлемые сроки окупаемости для Краснодарского края имеют только системы солнечного горячего водоснабжения (ГВС) [1], которые в соответствии с ГОСТ Р 51594-2000 [2] используют солнечную энергию для нагрева воды и обеспечивают частичное или полное покрытие нагрузки ГВС потребителя. Следует отметить, что на фоне наблюдаемого ощутимого снижения цен на солнечные коллекторы на мировом рынке сроки окупаемости проектов при реализации таких гелиоустановок год от года прогнозируемо уменьшаются.

Покрытие потребности в горячем водоснабжении должно осуществляться независимо от солнечного нагрева, так как в России вероятны длительные периоды ухудшения погоды, в первую очередь, сезонного характера. Применительно к Краснодарскому краю покрытие нагрузки ГВС гелиоустановками возможно с марта-апреля по октябрь. Таким образом, гелиоустановка должна работать совместно с котельным оборудованием, а сама котельная может быть только солнечно-топливной.

Проектируемая крышная газовая котельная с гелиоустановкой для ГВС (рис. 1) мощностью 400 кВт в г. Краснодаре предназначена для отопления и горячего водоснабжения пя-

тиэтажного жилого дома по улице Гражданская 6. Расчетная нагрузка котельной составляет 379,11 кВт, в том числе на отопление 292,76 кВт, на ГВС 86,35 кВт.



Условные обозначения:

K3 – Теплообменник пластинчатый на нужды ГВС Alfa Laval

K7 – Насос циркуляции контура гелиоустановки Stratas 25/1-6 PN 10 Wilo

K8 – Насос рециркуляции ГВС Stratas PICO 25/1-4 Wilo

K13 – Бак-аккумулятор V=10м<sup>3</sup>

K14 – Коллектор гелиоустановки Vitasol 300F Vlessmann

✱ – клапан предохранительно-сбросной

✱ – затвор поворотный

✱ – кран шаровый

✱ – электроклапан

○ – насос

○ – манометр показывающий

✱ – клапан трехходовой с электроприводом

Рис. 1. Схема системы ГВС котельной с солнечным модулем

Нагрузка может быть целиком покрыта четырьмя котлами Buderus Logano GE315, которые обеспечивают работу тепловой сети по температурному графику 95/70°C. Система теплоснабжения независимая и включает пластинчатые теплообменники фирмы Alfa Laval на отопление и на горячее водоснабжение. В зимний период нагрузку на ГВС полностью покрывает теплообменник, который рассчитан по максимальной нагрузке на ГВС. Для экономии топлива в контур ГВС включен солнечный модуль с коллекторами солнечной энергии марки Vitosol 300F фирмы Viessmann.

Исходя из данных солнечной активности в г. Краснодаре и из условия работы солнечного модуля в период с марта по октябрь, была рассчитана необходимая площадь поглощающей поверхности (115 м<sup>2</sup>), и выбрано количество коллекторов (50 шт.). В соответствии с нормами проектирования [3] для обеспечения максимального уровня поглощения солнечной энергии коллекторы установлены под углом 30° к горизонту и ориентированы в южном направлении с возможными отклонениями на восток 20° и запад до 30°. Монтаж коллекторов выполнен блоками по 10 штук на крыше дома.

Не смотря на очевидные преимущества термосифонных гелиосистем, применительно к российским климатическим условиям предпочтительней использование систем циркуляционных [1]. Вода в солнечном модуле циркулирует через бак-аккумулятор. Объем бака-аккумулятора рассчитан по графикам потребления и подачи тепловой энергии в систему ГВС. Циркуляцию обеспечивает насос Stratos 25/1-6 фирмы Wilo.

Мощность автоматизированного солнечного модуля в зависимости от времени года изменяется от 25 до 50 кВт. Температура воды в баке аккумуляторе регулируется подмесом в него холодной воды из водопровода. Во избежание перегрева воды в баке-аккумуляторе выше 60°C в месяцы с наибольшей солнечной интенсивностью (июнь, июль, август) часть коллекторов закрывается при помощи роллставней. Контроллер следит за температурой воды на выходе из коллекторов, тем самым обеспечивая защиту от перегрева воды во всей системе солнечного модуля.

Срок службы солнечных коллекторов составляет 25 лет. Срок окупаемости котельной с солнечным модулем, рассчитанный по состоянию цен и тарифов на 2013 г. составляет около 8 лет.

#### Библиографический список

1. Бутузов В.А. Гелиоустановки Краснодарского края /Брянцева Е.В., Бутузов В.В., Гнатюк И.С. //Промышленная энергетика. 2011. №7. С. 45-47.
2. ГОСТ Р 51594-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Термины и определения.
3. ВСН 52-86. Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования.



**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **АКТИВНАЯ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ФУНДАМЕНТОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ**

*Лавелин В.Е.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
[vitaliylavelin@gmail.com](mailto:vitaliylavelin@gmail.com)

*Ямов В.И.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Для исправной работы машин с динамическими нагрузками периодического действия, таких как турбоагрегаты, требуется устройство фундаментов, отвечающих требованиям не только прочности, но и безопасной и безотказной эксплуатации машины. В качестве таких фундаментов, как правило, используются массивные или рамные фундаменты.

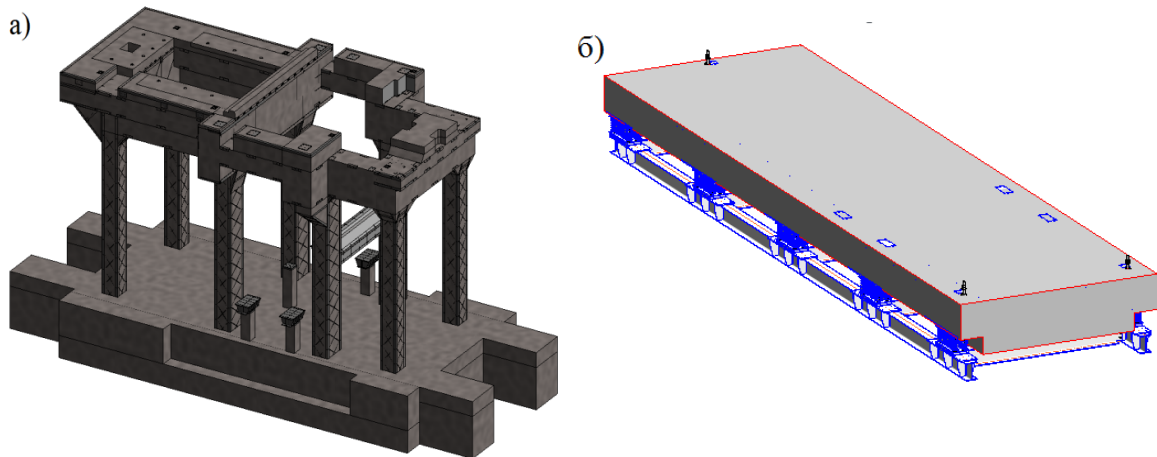


Рис 1. Динамически устойчивые фундаменты:  
а – рамный фундамент; б – массивный фундамент на виброизоляторах.

Одной из основных проблем при расчётах системы Турбоагрегат-Фундамент-Основание (ТФО) является, как правило, обеспечение динамической устойчивости, то есть предотвращение сверхнормативных вибраций.

Вопросы проектирования фундаментов турбоагрегатов и динамического расчета пространственных рамных конструкций рассматривались в работах Г.Г. Аграновского, Е.Г. Бабского, О.А. Савинова, Б.В. Цейтлина, И.С. Шейнина и др. [2, 3].

Вопросами борьбы с вибрацией занимались О.А.Савинов, Б.В. Цейтлин, И.С.Шейнин и др. В основу проектирования активной виброизоляции закладывался подбор коэффициентов жесткости и проверка прочности конструкции виброизоляторов с последующей окончательной проверкой фундамента на колебания. [4, 5].

В настоящий момент для мощных машин (более 300 МВт) бывает очень сложно обеспечить зарезонансную работу, путём устройства высоконастроенного фундамента, ввиду ограниченного пространства. Поэтому низконастроенные фундаменты с достаточно гибкими колоннами оказываются целесообразными. Однако в данном случае отстройка первого тона свободных колебаний от рабочей частоты оказывается недостаточным. Необходимо определять частоты более высоких тонов, чтобы быть уверенным, что они не находятся вблизи частоты возмущающей силы. Однако даже при тщательном конструировании и составлении расчётной схемы бывают ситуации, когда одна из частотных зон собственных колебаний

фундамента попадает в резонанс с оборотной частотой машины. В таком случае необходимо предусматривать мероприятия по противодействию сверхнормативной вибрации.

Одним из таких мероприятий является активная виброизоляция – применение виброизолирующих устройств в виде стальных пружин и демпферов. В расчетах на колебания фундамент можно рассматривать как систему, состоящую из двух твердых тел, соединенных между собой упругой связью с заданной жесткостью.

Предметом исследования являются виброизолированные фундаменты турбоагрегатов. Целью исследования является изучение технической целесообразности применения активной виброизоляции в виде стальных пружинных элементов.



Рис. 2. Пружинная виброопора

Конструктивно пружинная виброопора представляет собой несколько стальных цилиндрических пружин, установленных между двумя сварными металлическими корпусами. Несущая способность виброизоляторов варьируется от нескольких ньютонов до 1300 кН. При этом собственная частота в вертикальном направлении (как правило, оно является определяющим) изменяется от 1,2 Гц до 6 Гц. Выбор конкретного типа виброизолятора определяется массой устанавливаемого оборудования, требованиями по деформациям и необходимыми значениями собственных частот для не превышения амплитуд колебаний.

Применение виброизолирующих устройств со стальными пружинами, в первую очередь, позволяет исключить из динамического анализа часть системы, находящуюся под виброизоляторами – нижнюю плиту с основанием. Как известно, демпфирующие свойства основания при динамическом анализе зависят от коэффициентов жесткости и, при отсутствии экспериментальных данных, определяются по эмпирическим формулам в зависимости от модуля деформации грунта, усредненного по глубине сжимаемой толщи, что является приближенным методом оценки свойств основания. Кроме того, в случае наличия в основании фундамента рыхлых или мелких и пылеватых водонасыщенных песков, а также текучих и текуче-пластичных глинистых грунтов применение виброизоляции обязательно. Поэтому тот

факт, что на нижнюю фундаментную плиту, а значит и на основание, будет передаваться лишь статическая нагрузка от веса вышележащей части системы, позволит получить гарантированно более надежную конструкцию фундамента.

Возможность регулирования высотного положения виброизоляторов уже после установки машины на фундамент бывает необходима в случае неравномерных осадок основания. При помощи домкратов и набора стальных пластин, толщиной от 0,1 до 10 мм можно изменить высотное положение каждого отдельно взятого виброизолятора.

Срок службы пружинных виброизоляторов значительно превышает срок службы установленного на них оборудования в случае соответствующей защиты от коррозии.

### **Заключение**

В результате краткого обзора конструкций фундаментов турбоагрегатов и рассмотрения активной виброизоляции при помощи стальных пружинных изолирующих устройств можно выделить следующие области применения данного решения:

- при реконструкции существующих фундаментов и сохранении нижней части фундамента;
- при наличии в основании рыхлых или мелких и пылеватых водонасыщенных песков, а также текучих и текуче-пластичных глинистых грунтов;
- при установке турбоагрегата на общую фундаментную плиту машинного зала станции;
- при невозможности отстройки собственных частот от резонанса конструктивными мероприятиями;
- при установке на существующий фундамент турбоагрегатов большей мощности;
- и т.д.

Применение виброизоляторов даёт большую гибкость при принятии решений о конструкции фундамента турбоагрегата, обеспечивает необходимый режим работы, отвечающий требованиям безопасной эксплуатации. Данное решение позволяет регулировать высотное положение оборудования путём установки дополнительных стальных пластин, в случае неравномерных осадок основания.

Можно отметить, что активная виброизоляция порой является единственным возможным решением по устройству фундаментов турбоагрегатов и требует дальнейшего изучения с целью более эффективного её применения.

### **Библиографический список**

1. Абашидзе А.И., Сапожников Ф.В., Казанджян А.Т. Фундаменты машин тепловых электростанций. М.: Издательство «Энергия», 1975.



2. Абросимов Н.А., Крылов А.В., Светушков В.В. Натурные наблюдения за вибрационным состоянием фундамента турбоагрегата мощностью 1200 МВт. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2008. Т.251. С. 77-82.
3. Пермякова В.В., Лебедева Н.А., Пожиткова О.А., Томашевский А.В., Кирилина В.Н., Эсперов Д.Г. Статические и динамические испытания ненагруженного фундамента турбоагрегата Т-130/160-12,8+ТЗФП-160-2ПГУ-220. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2004. Т.244. С. 151-158.
4. Цейтлин Б.В. Динамический расчет фундаментов мощных турбоагрегатов. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Сборник научных трудов, - 1978, т. 127, - с. 70-79.
5. Foundations for vibration machines, Shamsheer Prakash, Vijay K. Puri // Special Issue, April-May 2006, of the Journal of Structural Engineering, SERC, Madras. INDIA
6. GERB. Vibration Control Systems, 10 Edition. // Germany, 2000/01.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **ЗЕЛЕННЫЕ КРОВЛИ КАК ЭЛЕМЕНТ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

*Мальцева И.Н.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
3724316@mail.ru

*Каганович Н.Н.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
iris-blue@yandex.ru

*Юдина О.Э.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
yudina.o.e@gmail.com

"Кров – укрытие, завеса, навес над чем-нибудь". Когда предки современного человека вышли из пещер и построили свое первое рукотворное жилище, это была, прежде всего, защита от непогоды и место для семейного очага. Существенная роль отводилась кровле.

Географическое положение, и следовательно, климат в большой степени формировали облик жилища и, особенно, его кровлю.. Исходя из принципа «польза», на юге крыши делались плоские (в Древнем Египте основу города составляли одноэтажные домики с плоскими крышами), на севере – преимущественно скатные. На Руси настил из бревен и поперечных лаг прокладывался хворостом, тростником или дерном, утрамбовывался глиной и засыпался толстым слоем земли. Такой «сэндвич» надежно укрывал «домовладельцев» от зимних морозов. Традиционное обилие осадков в регионе также учитывалось при выборе формы и методе возведении кровли.

Целый ряд факторов исторически определял отличительные черты, эстетику и формировал архитектурные стили и соответственно облик зданий, в том числе и такой важный элемент здания – кровлю, как завершение архитектурного объекта (в триаде Витрувия – КРАСОТА). Композиционная роль кровли: в ряде случаев кровля становится полноценным пятым фасадом, выразительным и узнаваемым. В городской застройке начинают доминировать крыши уникальных построек состоятельных владельцев, церковной и светской знати, именно они создают общий силуэт того или иного города. Крыша уже не только «полезный» элемент здания, но и элемент, активно формирующий образ, стилистику, архитектурную эстетику сооружения (рис. 1) Таковы узнаваемые силуэты городов Амстердама, Брюсселя, Лондона, Парижа, Дубая, Санкт-Петербурга – это в большой степени композиция из уникальных крыш и шпилей, что отражает градостроительный аспект проблемы. Развитие строительных технологий и инженерно-конструкторской мысли, создание новых строительных материалов дали миру уникальные по своему решению кровли, возможности при создании формообразующих конструкций практически безграничны. что определяет их подчас совершенно новую эстетику.

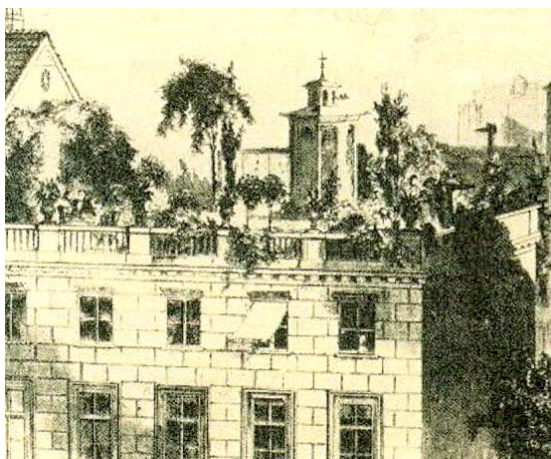


Рис. 1. Германия, Нюрнберг XVIII век

С древних времен кровля использовалась не только как укрытие, но как дополнительное эксплуатируемое пространство, прежде всего, озелененное: висячие сады Семирамиды в древнем Вавилоне, висячий сад над анфиладами залов и гротов дворца кардинала Борromeо на острове Изола Белла в Северной Италии, "Английский лес" под небом Лондона на крыше бывшего универмага в Roof Gardens с искусственными прудами и грациозными фламинго и сегодня как оазис, парящий над шумным городом; висячий сад Малого Эрмитажа в Петербурге построенный в 1773 г. В XX веке Ле Корбюзье сделал эксплуатируемые кровли-террасы программным аспектом современной архитектуры. Использование кровель расширяет возможности городского пространства, обогащает "ткань" города, особенно в условиях плотной застройки.

Эксплуатируемая кровля используется в зданиях различного назначения и может осуществлять разные функции. Покрытие может быть оборудовано как вертолётная площадка и теннисный корт в отеле Парусе Бурдж-эль-Араб в Дубаи или осуществлять функции рекреационной зоны, как, например, отель Marina Bay Sands в Сингапуре, где на крыше располагается зона отдыха с бассейном. Такие сооружения даже сейчас, в XXI веке выделяются из общего городского пейзажа и стали настоящим украшением современных мегаполисов, где на счету каждый квадратный метр свободного пространства, особенно озелененного и благоустроенного (рис. 2).



Рис. 2. Выставочный зал «Art and Exhibition Hall» в Бонне

Все эти возможности эксплуатации кровель появились с развитием современных технологий, а, точнее, с появлением инверсионного покрытия, которое отличается от традиционного расположением водоизоляционного ковра. К новинкам в этой области можно отнести, в частности, комплексную систему электроподогрева, полимерную гидроизоляция, не подверженную старению, прочный утеплитель, не впитывающий воду, и прочие разработки.

Конструкция эксплуатируемой кровли, а точнее ее верхний слой, формирует назначение кровли, исходя из этого, эксплуатируемые кровли разделяют на: кровли-паркинги и террасы, зеленые кровли, площади с пешеходными дорожками и зелеными зонами.

Кровли-террасы представляют собой оборудованные площадки для отдыха, спорта либо прогулок. Верхний слой кровельного пирога может покрываться тротуарной плиткой. Эксплуатируемая кровля с паркингом представляет собой кровлю с местами для парковки автомобилей. Устройство конструкции подобной крыши схоже с монтажом кровель-террас, единственное отличие – увеличение нагрузки, что будет сказываться на используемых материалах.

Зеленые кровли раньше встречались в основном при индивидуальном домостроении, но сейчас идёт активное озеленение и среди высотных офисных и жилых комплексов. Плоская эксплуатируемая кровля зеленого типа обустраивается газонами с плодородным слоем и клумбами (рис. 3). Устраивая зеленую кровлю, важно проследить за тем, чтобы была правильно подобрана толщина растительного грунта. Она должна быть больше глубины роста корневой системы. Чтобы избежать разрушения кровли и не делать ремонт каждый год, необходимо устройство противокорневой защиты из полимерно-битумных мембран или нетканого геотекстиля.



Рис. 3. GENO Haus, Штутгарт, Германия

Кровля, как важный элемент общей энергоэффективной технологии, постоянно совершенствуется. Как показали недавние исследования – черные крыши, которые применялись повсеместно, не только отрицательно сказываются на окружающей среде, но и из-за летней жары представляют большую опасность для здоровья. Белые крыши очень эффективно отражают солнечный свет и тепло, поэтому снижают эффект перегрева. Как белые, так и озелененные крыши в жару помогают охлаждать здания.

Сегодня функциональное назначение, использование новых технологий, инженерное оборудование и конструктивные решения кровель поражают разнообразием и смелостью замысла. Венецианский канал на крыше торгового центра «Selfridges» в Лондоне – это водный объект, в котором обустроена сеть каналов, где можно передвигаться на небольших лодочках. В китайском городе Чжучжоу на крыше местного торгового центра расположена

частная застройка. Там находятся четыре двухэтажных коттеджа с небольшими приусадебными участками. На крыше небоскреба «Stratosphere» в Лас-Вегасе существует парк аттракционов для людей, которые не боятся высоты.

Библиографический список

1. <http://vseokrovle.com/ploskaja/36-jekspluatiruemaja-krovlja.html>
2. <http://www.prime-realty.ru/cmi/c2/2.78..htm>
3. <http://www.balticreed.ru/interesting/istoriya-krish/>
4. <http://www.nkj.ru/archive/articles/4270/>
5. <http://www.energy-fresh.ru/tech/building/?id=8100>
6. <http://www.energy-fresh.ru/energoeffect/?id=3658>

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭФФЕКТА ДОМИНО В СЛУЧАЕ АВАРИИ РЕЗЕРВУАРОВ С ТОПЛИВОМ**

*Тимашев С.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
timashevs@gmail.com

*Малюкова М.Г.*

ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Рассматривается задача оценки вероятности распространения эффекта домино (далее по тексту ЭД) в случае аварии резервуаров с топливом. В качестве сценария аварии рассматривается пожар при разливе (PF – pool fire), вектором эскалации аварии является тепловое излучение [1].

Задаются: схема расположения резервуаров  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ , с топливом; расстояния между их центрами; характеристики резервуаров (номера; типы; вместимости (т), объемы ( $\text{м}^3$ )); содержащиеся горючие вещества; первоначальные вероятности аварии (течи); пороговое значение воздействия теплового излучения на резервуары при атмосферном давлении ( $Q_{th}$ ); время до разрушения резервуаров (ttf – time to failure).

Решение поставленной задачи (на примере трех резервуаров) состоит из следующих основных этапов:

1. Определение первичного элемента – резервуара  $X_1$ , имеющего наибольшую первоначальную (априорную) вероятность аварии. Введение обозначений для остальных резервуаров ( $X_2$  и  $X_3$ ), а также для расстояний между центрами резервуаров.

2. Расчет интенсивности теплового излучения для резервуара  $T_i$  в случае события PF в  $T_j$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ). Создание (с учетом обозначений п.1) таблицы интенсивностей теплового излучения  $Q_{ij}$  для элементов  $X_1, X_2$  и  $X_3$ .

3. Сравнение  $Q_{12}$  и  $Q_{13}$  с пороговым значением  $Q_{th}$ . Выделение элемента  $X_m$  ( $m = 2$  или  $3$ ) из набора  $X_2, X_3$ , испытывающего наибольшую интенсивность теплового излучения от первичного пожара, как наиболее вероятного вторичного элемента  $X_{Prob}^{(2)} = X_m$ , вызванного событием PF в первичном элементе  $X_1$ .

4. Моделирование задачи с помощью инструментального программного средства AgenaRisk и построение соответствующей Байесовской схемы (БС):

Обозначение узлов в БС, соответствующих элементам  $X_1, X_2$  и  $X_3$ . Соединение узлов  $X_1$  и  $X_{Prob}^{(2)} = X_m$  причинным ребром, направленным от  $X_1$  к  $X_m$ .

Задание узловых вероятностных таблиц NPT (Node probabilities tables) для всех узлов, не имеющих порождающих их узлов. NPT для узла  $X_1$  строится по данным априорной вероятности аварии в этом узле.

Задание таблицы условных вероятностей CPT (Conditional probabilities table) в узле  $X_m$ . Эта CPT используется при оценке вероятности аварии, обусловленной ЭД первого уровня. Рассматриваются два возможных случая.

Случай 1. Априорная вероятность аварии в  $X_m$  не задана. Предполагается, что авария в  $X_m$  возможна, только если есть повреждение в порождающем узле  $X_1$  (то есть, оценивается вероятность аварии только вследствие ЭД). Для создания CPT в узле  $X_m$  необходимо значе-



ние вероятности эскалации аварии в  $X_m$  при заданном первичном событии PF в  $X_1$ , то есть,  $P_{1m} = P(X_m | X_1)$ . При расчете  $P_{1m}$  используются пробит-функции [2]. В соответствии с [2], вероятность эскалации равна

$$P_{Escalation} = \Phi(Y - 5), \quad (1)$$

где  $\Phi$  – функция плотности стандартного нормального распределения вида [3]:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad (2)$$

Здесь  $u$  – переменная интегрирования;  $Y$  – значение пробит (вероятностное значение), соответствующее вероятности  $P(0 \leq P \leq 1)$ . Переменная  $Y$  имеет нормальное распределение, а значение  $Y$  для вероятности  $P$  при тепловом излучении [2] равно

$$Y = a + b \ln(V) \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты пробит, определяемые по экспериментальным данным методами регрессии,  $V = \text{ttf}$  (s). В дальнейшем рассматривается уравнение вида [2]:

$$Y = 12,54 - 1,847 \ln(\text{ttf}), \quad (4)$$

$$\ln(\text{ttf}) = -1,128 \ln(I) - 2,667 \cdot 10^{-5} V_r + 9,877, \quad (5)$$

где  $I$  – интенсивность излучения первичного пожара на данный резервуар (кВт/м<sup>2</sup>);  $V_r$  – объем сосуда (м<sup>3</sup>).

Таким образом, вероятность  $P_{1m}(X_m | X_1)$  можно рассчитать, как

$$P_{1m} = \Phi(Y_{1m} - 5), \quad (6)$$

где  $Y_{1m}$  определяется из (4), (5) при  $I = Q_{1m}$ ,  $\text{ttf} = \text{ttf}(X_m)$  и  $V_r = V_r(X_m)$ .

Случай 2. Задана априорная вероятность аварии для  $X_m$ , при наличии ЭД она будет возрастать. При введении в анализ для  $X_m$  априорной вероятности течи [3] и моделировании БС применяется логический элемент ИЛИ с помехами (noisy-OR gate). В таком случае, если детский узел находится под влиянием порождающих его узлов, не зависящих друг от друга, то общий эффект всех порождающих узлов на детский узел оценивается как

$$P(X | Pa(X)) = 1 - \prod_{i \in Pa(X)} (1 - P_i) \quad (7)$$

Здесь  $P_i$  – вероятность при условии, что порождающий  $i$ -ый узел для  $X$  – истинный, а остальные узлы – ложные. Если априорная вероятность независимого порождающего узла

для  $X$  равна  $P_{Leak}$ , то вероятность  $X$ , с учетом всех порождающих его узлов, а также априорной вероятности, будет равна

$$P(X | Pa(X)) = 1 - (1 - P_{Leak}) \prod_{i \in Pa(X)} (1 - P_i) \quad (8)$$

СРТ для узла  $X_m$  приведена ниже.

Таблица 1

СРТ для узла  $X_m$ 

$X_1$	$X_m$	
	Авария	Сохранение целостности
Авария	$1 - (1 - P_{Leak})(1 - P_{1m})$	$1 - (1 - P_{Leak})(1 - P_{1m})$
Сохранение	$P_{Leak}$	$(1 - P_{Leak})$

Проверка возможности для элемента из группы  $(X_2, X_3)$ , не выбранного в качестве вторичного элемента  $X_m$  и обозначенного как  $X_r$  ( $r = 2$  или  $3$ ) стать наиболее вероятным третичным элементом. Сравнение интенсивности теплового излучения  $Q_{mr}$  на элемент  $X_r$  (вследствие события PF в  $X_m$ ) с предельным значением  $Q_{th}$ . Превышение над  $Q_{th}$  указывает на возможность элемента  $X_r$  стать наиболее вероятным третичным элементом  $X_{Prob}^{(3)}$ . В противном случае учитывается синергетический эффект (совместное влияние  $X_1$  и  $X_m$  на  $X_r$ ) и рассчитывается общее тепловое излучение  $(Q_{1r} + Q_{mr})$  на  $X_r$  от  $X_1$  и  $X_m$ . Если  $Q_{1r} + Q_{mr} > Q_{th}$ , то элемент  $X_r$  будет являться третичным элементом  $X_{Prob}^{(3)}$ , вовлеченным в случай ЭД (переход к третьему уровню).

Продолжение построения БС в AgenaRisk. Поскольку третичный элемент  $X_r$  находится под совместным воздействием  $X_1$  и  $X_m$ , его нужно связать с этими узлами в БС (как в подобной задаче [1] на рисунке, где вместо  $X_1, X_m$ , введены  $T_1, T_2, T_3$ ).

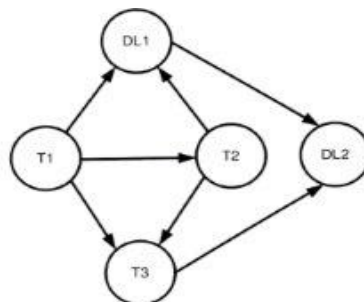


Рис. 1. БС для задачи [1]

Задание СРТ в узле  $X_r$ . Вследствие того, что узел  $X_r$  имеет два порождающих узла  $X_1$  и  $X_m$ , необходимо рассмотреть вероятность эскалации  $X_r$  из-за синергетического эффекта:  $P(X_r | X_1, X_m)$ . С помощью метода noisy-OR gate (как и выше) можно рассчитать

$$P(X_r | X_1, X_m) = 1 - (1 - P_{1r})(1 - P_{mr}) \quad (9)$$

где  $P_{1r} = P(X_r | X_1 = \text{PF})$ , а  $P_{mr} = P(X_r | X_m = \text{PF})$ .

Вероятности эскалации в  $P_{1r}$  и  $P_{mr}$  в формуле (9) для всех состояний порождающих узлов  $X_1$  и  $X_m$  можно вычислить как

$$P_{1r} = \phi(Y_{1r} - 5), \quad P_{mr} = \phi(Y_{mr} - 5) \quad (10)$$

Для представления и оценки вероятностей ЭД на разных уровнях нужно добавить к БС узлы, обозначающие первый и второй уровни (рис. 1). Чтобы имел место ЭД первого уровня, необходимо распространение повреждения в первичном элементе, по крайней мере, в один из соседних элементов. При рассмотрении ЭД на первом уровне узел  $DL_1$  соединяется с первичным элементом  $X_1$  и вторичным элементом  $X_m$  с помощью причинного ребра логического элемента И (AND-gate causal ars). Для ЭД первого уровня необходимо не только первичное событие  $X_1$ , но и вторичное событие  $X_m$ . Согласно [1], вероятность ЭД первого уровня равна

$$P_{First\ level} = P(DL_1) = P(X_1)P(X_m | X_1) \quad (11)$$

Аналогично, для рассмотрения ЭД второго уровня вводится узел  $DL_2$  (рис. 1), тогда

$$P_{Second\ level} = P(DL_2) = P(DL_1)P(X_r) \quad (11)$$

Задание СРТ в узлах  $DL_1$  и  $DL_2$ , отражающих  $P(DL_1 | X_1, X_m)$  и  $P(DL_2 | DL_1, X_r)$ ; вычисление вероятностей аварий для первого и второго уровня ЭД.

Измененный выше алгоритм используется для решения разнообразных задач оценки техногенного риска, связанных с вероятностью пожаров и взрывов на потенциально опасных объектах.

#### Библиографический список

1. Nima Khakzad, Faisal Khan, Paul Amuotte, Valerio Cozzani Domino effect analysis using Bayesian networks. Risk Analysis. 2013. vol. 33, No. 2, 292-306.
2. Cozzani V, Gubinelli G, Antonioni G, Spadoni G, Zanelli S. The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis. Journal of Hazardous Materials, 2005. 127 (1-3) 14-30.
3. Bobbio A, Portinale L, Minichino M, & Ciancamerla E. Improving the analysis of dependable systems by mapping ITs into Bayesian networks. Journal of Reliability Engineering and System Safety 2001. 249-260.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **СНИЖЕНИЕ РИСКОВ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА ЗА СЧЕТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ**

*Мигалатий Е.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
emigalatij@gmail.com

*Браяловский Г.Б.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
bgb@rambler.ru

*Насчетникова О.Б.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
NOBEL408@mail.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Вода является дешевым теплоносителем и универсальным растворителем. Однако при наличии определенных примесей и повышенных температурах вода может представлять угрозу для теплообменников, котлов, наружных и внутренних сетей горячего водоснабжения в виде риска осадкообразования. Решение и предотвращение проблем в работе водонагревательного оборудования невозможно без четкого понимания их причин, а также знания современных технологий подготовки воды.

Природная вода – вода рек, озёр и родников содержит в себе соли кальция, магния, железа. При нагревании эти соли оседают на стенках котлов, бойлеров, труб, радиаторов и теплообменников. Каждый может наблюдать это явление на стенках обычного чайника. Этот осадок проводит тепло значительно хуже, чем металл, из которого сделаны нагревательные элементы. При нагревании воды теплу приходится "пробивать" этот слой. Соответственно, возрастает расход топлива. По некоторым данным 1,5 мм отложений в котле может увеличить расход топлива на 15 %. При тринадцатимиллиметровом слое расход может возрасти на 60 %. Проблема становится ещё более актуальной, если в системе отопления велики потери теплоносителя из-за аварий и протечек. В конечном счёте, эти миллиметры и проценты превращаются во вполне осязаемые тонны. Тонны топлива, за которые, в конечном счёте, платит потребитель. Кроме того, сужение сечения труб вызывает перегрузку насосного оборудования. С течением времени энергетические потери могут сделать работу оборудования неэффективной или практически невозможной.

Проблемы, связанные с осадкообразованием в системах теплоснабжения решаются с использованием ионообменных, сорбционных, химических и физических (безреагентных) методов, а также при помощи обессоливания воды обратным осмосом.

В настоящее время закрытые системы горячего водоснабжения при жилищном строительстве становятся все популярнее. Суть их состоит в том, что водопроводная вода нагревается через теплообменники в технических помещениях зданий. Горячая вода циркулирует через теплообменники, для сохранения комфортной температуры у потребителя при водоразборе. Никакой специальной водоподготовки, перед нагревом, водопроводная вода практически не проходит, что может послужить причиной осадкообразования в системе горячего водоснабжения.

Специфика Екатеринбургской водопроводной воды состоит в том, что при относительно невысокой жесткости (не более 2 мг-экв/л) содержание железа в различных формах может достигать 2 мг/л вследствие сильной изношенности сети и частыми ремонтными работами. Такая вода, нагреваясь, дает прочные железисто-кальциевые осадки на поверхности теплообменников и трубопроводов, которые чрезвычайно трудно растворить даже сильными кислотами.

Анализ работы закрытых систем горячего водоснабжения целого ряда новых элитных жилых домов г. Екатеринбурга показал, что уже в течение 3- 5 лет эксплуатации возникают проблемы с качеством и количеством горячей воды. Происходит постепенное снижение пропускной способности труб, снижается напор в кранах у потребителя, наблюдаются значительные колебания температуры горячей воды по часам суток. Органолептические свойства горячей воды также ухудшаются – усиливается неприятный запах и вода приобретает желтый цвет за счёт увеличения концентрации двухвалентного железа.

В практике водоснабжения для получения горячей воды с низкими характеристиками по содержанию железа и жесткости известно использование аппаратов ионного обмена и обратного осмоса. Но это требует значительных материальных затрат, а также дополнительных площадей для размещения крупногабаритного оборудования, которое зачастую не предусматривается в проектах жилых домов.

Специалисты кафедры водного хозяйства и технологии воды Уральского Федерального Университета совместно с малым инновационным предприятием (МИП УрФУ) ООО «БМБ» проблемой предотвращения зарастания труб и сохранения качества горячей воды занимаются в течение пяти лет. В ходе решения данной проблемы была создана технология «Акварос-БМБ» для предотвращения осадкообразования в закрытых системах ГВС специально для водопроводной воды г. Екатеринбурга [1]. Характеристика воды в результате внедрения технологии представлена на рис. 1.

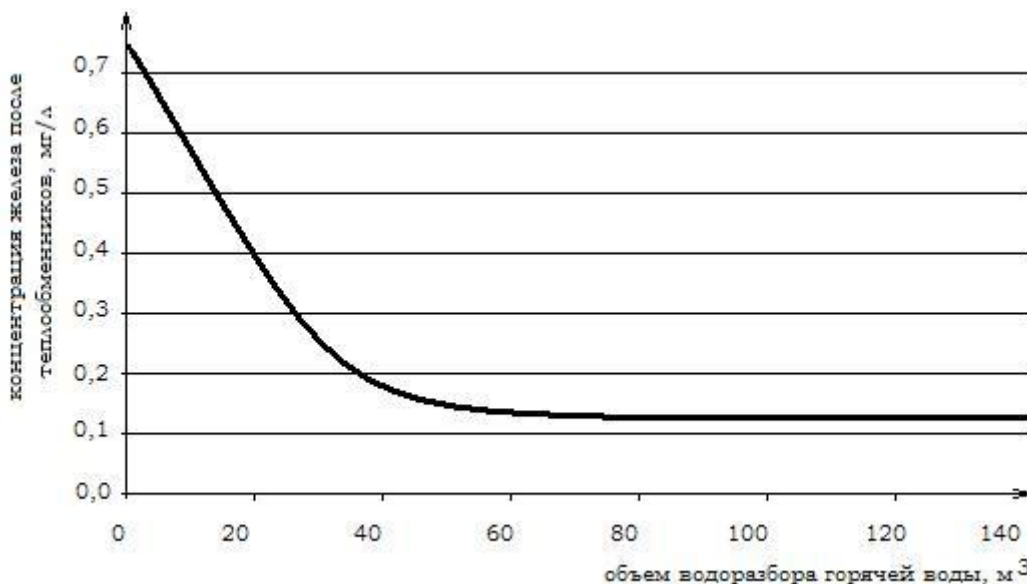


Рис. 1. Зависимость содержания ионов железа после теплообменников в системе горячего водоснабжения от объема водоразбора, после внедрения технологии «Акварос-БМБ» в многоквартирном доме

Как видно из рисунка, в результате внедрения технологии, уже после разбора 60 м³ горячей воды содержание соединений железа в различных формах после теплообменников снижается до 0,12 мг/л и остается стабильно низким при дальнейшем водоразборе. В резуль-

тате происходит предотвращение образования железистокальциевых отложений на внутренних поверхностях трубопроводов и теплообменных элементах системы горячего водоснабжения.

Технологическая линия для обработки воды монтируется непосредственно вблизи теплообменного оборудования, занимает не более 2 м<sup>2</sup> площади, и в результате ее работы, за довольно короткое время, улучшается не только качество горячей воды в кране у потребителя (она становится прозрачной, с хорошими органолептическими показателями), но стабилизируется её напор и температура.

Таким образом, разработанная технология весьма перспективна для модернизации закрытых систем горячего водоснабжения с целью предотвращения зарастания трубопроводов и улучшения качества горячей воды, в том числе для жилых домов, оборудованных электробойлерами и индивидуальными газовыми котельными.

#### Библиографический список

1. Беляева Н.П., Браяловский Г.Б., Насчетникова О.Б., Павлова В.Ф., Поворов А.А., Рябинский М.А., Шименкова Н.А. Промышленное применение мембранных процессов. Тамбов: Из-во ИП Чеснокова, 2011, 165 с.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ РИСКА ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЗЕРВУАРНОГО ПАРКА ДЛЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

*Московский С.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ro3786348@yandex.ru

*Гурьев Е.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

*Полуян Л.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

*Тимашев С.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**



Арктика – регион с колоссальными запасами неразработанных энергоресурсов: нефти и газа. Добыча природных ресурсов здесь крайне сложна и опасна с точки зрения экологии. В условиях сурового климата вероятность аварийных ситуаций возрастает в разы.

Для строящегося завода по сжижению газа, была спроектирована электростанция, находящаяся в поселке Тамбей, Ямальский АО. Проект конструкций каркаса главного корпуса электростанции выполнен одной из лидирующих проектных организаций России и прошел государственную экспертизу в 2014 г. Строительство главного корпуса началось осенью 2014 г., планируемое завершение – в первой половине 2016 г.

В настоящем исследовании дана оценка взрывоустойчивости каркаса проектируемой электростанции при внешнем взрыве от аварии в резервуарном парке со сжиженным природным газом и выполнен анализ опасности и риска проектируемой электростанции, являющейся критичной инфраструктурой.

Сравнительный анализ нормативных и литературных источников [1–9] выявил отсутствие утвержденных норм проектирования стальных конструкций на воздействие взрывных нагрузок (отсутствие правил сбора нагрузки, отсутствие правил расчета по предельным состояниям).

Расчет взрывоустойчивости главного корпуса электростанции на взрывную нагрузку проведен в ПК «Лира-Сапр 2012». Определены усилия в элементах конструкций от наиболее невыгодного сочетания расчётных нагрузок. При оценки воздействия взрывной нагрузки на корпус установлено, что безаварийная работа электростанции возможна только при нагрузке, не превышающей несущей способности стеновых сэндвич - панелей. Нагрузка варьируется, для пролета 6 метров, в пределах от  $20 \text{ кг/м}^2$  до  $358,2 \text{ кг/м}^2$ . Такой разброс нагрузки связан с тем, что панели различают по толщине, типу утеплителя, характеристике профилированного настила. В работе принята допустимая расчетная нагрузка на сэндвич-панель  $358,2 \text{ кг/м}^2$  (для панелей, применяемых в условиях Крайнего Севера). Исходя из этого определена допустимая расчетная взрывная нагрузка:  $q = 223,2 \text{ кг/м}^2$  (с учетом коэффициента по нагрузке  $\gamma_f = 1,2$ ). Сбор нагрузок произведен в соответствии с проектной запиской.

При определении напряженного состояния конструкций выполнены проверки по I группе предельных состояний (прочность, устойчивость; II группа ПС, проверка прогибов не проводилась в связи с характером учета действия взрывной (особой) нагрузки) следующих элементов:

- колонн каркаса;
- баз и монтажного стыка колонн ряда «А».

Оценка несущей способности конструкций в соответствии с [1, 4, 9] установила:

- наибольшее нормальное напряжение в колоннах ряда «А»

$$\sigma = 3010 \text{ кг/см}^2 > R_y = 2898 \text{ кг/см}^2;$$

- наибольшее нормальное напряжение в колоннах ряда «В»

$$\sigma = 2656 \text{ кг/см}^2 < R_y = 2898 \text{ кг/см}^2;$$

- наибольшее нормальное напряжение в колоннах ряда «С» и «D»

$$\sigma = 2090 \text{ кг/см}^2 < R_y = 2898 \text{ кг/см}^2.$$

- база и монтажный стык колонн ряда «А» не удовлетворяет требованиям [9].

Необходимо отметить, что при оценке несущей способности каркаса электростанции без учета «сэндвич-панелей» (то есть сбор нагрузки только с площади полок колонн) напряжения, приведенные выше, будут достигаться при нагрузке равной 4,37 кПа (значение получено интерполяцией).

Оценка риска на проектируемом объекте при различных сценариях аварий в резервуарном парке со сжиженным природным газом (СПГ) проведена в программном комплексе «Токсириск, версия 4.3». Основное назначение парка – прием и хранение СПГ перед последующим потреблением, выполнение роли буфера между поставщиком и получателем, компенсирующего неравномерности поставок и потребления сжиженного природного газа электростанцией. При оценке зон поражения учтены особенности испарения СПГ при различных условиях (температура, тип поверхности разлива, скорость ветра и т.д.)

На стадии проектирования проведен анализ риска для различного расположения резервуаров относительно других составляющих объекта с целью определения допустимого расстояния между изотермическими резервуарами и электростанцией, определены оптимальные объемы и количество резервуаров.

В результате проведенного исследования установлено:

- потеря несущей способности конструкций электростанции происходит при достижении давления взрывной нагрузки – 1.83 кПа;
- конструкция не может воспринимать взрывные нагрузки 20–30 кПа, рекомендованные для практического использования в таблице 6.5, приложения 6 [8];
- рациональное расстояние расположения между изотермическими резервуарами и электростанцией;
- оптимальный объем и количество резервуаров;
- размеры вероятных зон действия поражающих факторов при возможных сценариях аварий;
- коллективный, индивидуальный и социальный риски для персонала и населения поселка.

#### Библиографический список

1. СП 20.13330 2011. «Нагрузки и воздействия» Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85.

2. Федеральный закон от 30.12.2009 г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
3. ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету».
4. Пособие по обследованию и проектированию зданий и сооружений, подверженных воздействию взрывных нагрузок Москва, 2000 г АО «ЦНИИПромзданий».
5. У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстайн и др. Взрывные явления. Оценка и последствия: В 2-х кн. Перевод с английского Я.Б. Зельдовича и Б.Е. Гельфанда М., Мир, 1986.
6. Бирбраер А. Н. Экстремальные воздействия на сооружения /А. Н. Бирбраер, А. Ю. Роледер. – СПб. Изд-во Политехн. ун-та, 2009. - 594 с.
7. РД 03-409-01 «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей».
8. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценка риска аварий на ОПО», 2014. -74 с.
9. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ «УСТОЙЧИВОЙ АРХИТЕКТУРЫ» ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОНКУРСНОГО ПРОЕКТА ЖИЛОГО ДОМА В РАМКАХ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ АРХИТЕКТОРОВ**

*Мубаракшина Ф.Д.*

ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», г. Казань, Россия  
[faina.arch@rambler.ru](mailto:faina.arch@rambler.ru)

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Первые 15 лет XXI века показали, как существенно подверглись трансформации многие процессы жизнедеятельности человека: вырос спрос на новейшие технологии; развитие интернета, сделав информацию более доступной, ускорило и разнообразило способы потребления; обострение экологического кризиса инициировало изменения в организации жизни человека на Земле с целью сохранения его как биологического вида.

В качестве одного из способов выживания человечества в 1987 году Комиссией ООН по окружающей среде была предложена концепция «устойчивого развития», предполагающая такое развитие общества, когда нужды живущего поколения обеспечиваются без ограничения реализации потребностей последующего поколения [1]. Концепция включает требования к материалам, строительным системам, в которых эти материалы используются, к технологии ведения работ, архитектурно-планировочным решениям и системам инженерного обеспечения [2].

В 1993 году Всемирный конгресс архитекторов в своей «Декларации взаимозависимости для устойчивого будущего» определил отрицательное влияние архитектурной среды и, в частности, зданий на окружающую природную среду [3]. Поэтому в ключе концепции «устойчивого развития» очевидно, что архитектура и строительство, как одна из важнейших сфер потребления человека, требует переосмысления и реформирования. Восстановление экологического равновесия и обеспечение высококачественного уровня жизни человечества находятся, в первую очередь, в руках архитекторов. Архитектурная среда, а также процесс ее создания в зарубежной литературе получил название «устойчивая архитектура» (sustainable architecture) [4]. Термин «устойчивая архитектура» связан с архитектурой ближайшего будущего напрямую: вновь создаваемая архитектурная среда должна не только удовлетворять человеческие нужды, но одновременно и сохранять (улучшать) природную среду.

Британская компания «BioRegional» и фонд дикой природы WWF разработали перечень современных принципов проживания и потребления «One Planet Living», в котором в области архитектуры и строительства предусматриваются: нулевое производство CO<sub>2</sub>, минимальное потребление энергии, использование местных устойчивых строительных материалов, многократное использование воды, сохранение природной среды обитания, защита культурного наследия и другие [5].

Понимание важности устойчивого развития в области архитектуры и строительства в России растет, но практический опыт внедрения пока отстает от зарубежного. Такая же картина «начала пути» преобладает и в сфере нашего высшего профессионального архитектурного образования.

Исследование современной архитектурно-проектной практики в рамках концепции устойчивой архитектуры выявило примеры успешного использования интегрированного

подхода к проектированию, это те случаи, когда архитектор является руководителем группы специалистов из различных областей, включая архитектурную. Именно такой подход к проектированию позволяет создавать комплексные решения – наиболее эффективные и экономически выгодные. Процесс интегрированного проектирования требует от архитектора знаний не только в своей области, но также и в других смежных областях, в том числе инженерно-конструктивных, физико-технических, социально-гуманитарных. Очевидно, что эффективное овладение широким спектром знаний и умений будущими специалистами подразумевает, что это возможно только при использовании целостного интегрированного подхода также и к формированию архитектурной подготовки студентов.

Еще в декабре 2002 года по результатам проведения Всероссийского совещания «Образование для устойчивого развития» в сфере высшего образования были определены основные позиции перехода от традиционной модели обучения к модели экологически ориентированной, были даны рекомендации Министерству образования России, УМО и вузам по включению проблематики в области устойчивого развития в структуру высшего профессионального образования [6]. Однако и по сей день единой системы подготовки архитекторов в ключе устойчивого развития не сформировано, системы дисциплинарных курсов по устойчивой архитектуре в отечественных вузах отсутствуют, хотя в ряде архитектурно-строительных вузов Москвы, Санкт-Петербург, Казани, Екатеринбурга и других городов отдельные дисциплины ведутся.

С учетом вышеперечисленного и с целью формирования новых подходов в профессиональной подготовке современного архитектора в условиях функционирования российской системы образования и направленно на перспективы ее развития, особо актуальной представляется разработка методической основы преподавания устойчивой архитектуры, базирующейся на основе изучения сущности ее содержания, учета мирового проектного и образовательного опыта, на основе использования современных педагогических технологий, высшей целью которых является формирование целостной системы экологической и междисциплинарной подготовки будущих специалистов-архитекторов.

В качестве примера включения идей устойчивой архитектуры в учебный процесс рассмотрим проект жилого дома, выполненный студентами Казанского государственного архитектурно-строительного университета в рамках XI Международного студенческого конкурса «Проектирование Мультикомфортного дома ISOVER».

Задание, подготовленное компанией ISOVER при поддержке Департамента архитектуры и дизайна АО «Национальная компания «Астана ЭКСПО-2017», заключалось в разработке проекта энергоэффективного жилого здания в составе жилого комплекса, который по плану будет построен на территории выставки после окончания ее работы.

В соответствии с темой выставки «Энергия будущего» конкурсанты, на основе учета резко-континентального климата и преобладающих холодных ветров, являющихся региональными особенностями Астаны, должны были разработать энергоэффективные экологичные жилые здания, интегрированные в пространство города таким образом, чтобы их экстерьеры вписались в существующую архитектуру разрабатываемой территории.



Рис. 1. Жилой комплекс «Восход»

(авторы проекта: студенты КГАСУ: Семенов А., Гарданова А., Манцера Ю.;  
руководители проекта: архитектор Мубаракшина Ф.Д., инженер Сафин И.Ш.)

Краткое описание проекта включает архитектурные решения комплекса:

- жилая группа организована из двух г-образных жилых домов, максимально защищенных от ветра: на фасадах нет открытых балконов, только лоджии. Разработано 6 типов жилых секций, в них запроектировано 24 варианта квартир (1-, 2-, 3-, 4- и 5-комнатных);
- для решения проблемы личного автотранспорта во дворе предусмотрена 2-х уровневая парковка, 1-й уровень находится на отм. 0.000, второй – на отм. -3.600. Покрытие наземной парковки выполняет функцию жилого двора, предусмотрены гостевые парковки;
- в жилом доме запроектированы обслуживающие функции: учреждения первого типа, со входами с улицы, работают на горожан – магазины, аптека, почта и т.п. Учреждения второго типа запроектированы для жильцов, получающих услуги, не выходя на улицу, коммуникации организованы через коридор. На крыше каждой секции организован зимний сад;
- связь между жилыми секциями и двором обеспечивается через галереи. Пандусы и лестницы обеспечивают подъем во двор с улицы. Входы в подъезды организованы с уровня земли с учетом, в том числе, потребностей инвалидов.

Принципы энергоэффективного проектирования, использованные в проекте:

- в ограждающих конструкциях предусмотрен сплошной контур утепления, исключаящий теплопотери через теплопроводные включения. В конструкциях окон использованы

- энергоэффективные стеклопакеты, препятствующие в зимнее время излишнему переохладению помещений, в летнее – перегреву;
- жилые дома комплекса ориентированы так, что более 80 % помещений в течение дня получают естественное освещение, что благотворно влияет на внутренний микроклимат;
  - на крыше установлены солнечные коллекторы, нагревающие теплоноситель, который, работая в паре с тепловым насосом, установленным в подвальном помещении, нагревает воду для использования ее в обогреве полов в квартирах и отоплении помещений зимнего сада;
  - квартиры оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией с рекуперацией, приточный воздух нагревается за счет энергии вытяжного воздуха, что экономит энергию на отопление;
  - зеленые насаждения на крыше снижают нагрев здания, повышают теплоизоляцию здания, кроме того, вместе с посадками на улице защищают здание от избыточного шума.

#### Библиографический список

1. Брунтланд Г. Наше общее будущее. – М.: НЕКСТ СТОП СССР, 1987. – 403 с.
2. Жуков А.Д., Смирнова Т.В., Наумова Н.В., Мустафаев Р.М. Системы экологически устойчивого строительства // Строительство: наука и образование. 2013. Вып. 3. Ст. 4. Режим доступа: <http://nso-journal.ru/public/journals/1/issues/2013/03/4.pdf>. Дата обращения: 05.05.2015.
3. Union Internationale des Architectes / Declaration of Interdependence for a Sustainable Future. UIA/AIA World Congress of Architects, Chicago, June 18-21, 1993. Режим доступа: <http://server.uia-architectes.org/texte/england/2aaf1.html>. Дата обращения: 06.05.2015.
4. Ченчик Е.М. Концепция устойчивой архитектуры в высшем профессиональном образовании: Дис. ... канд. архитектуры: 18.00.01. – Екатеринбург, 2005. – 112 с.
5. Долгосрочные стратегии. Устойчивая архитектура. Режим доступа: <http://a4arch.ru/dolgosrochnye-strategii-ustojchivaya-arhitektura-2/>. Дата обращения: 06.05.2015.
5. Касимов Н.С., Тикунов В.С. Образование для устойчивого развития: материалы Всероссийского совещания «Образование для устойчивого развития». – Москва-Смоленск: Маджента, 2003. – 160 с.



**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

*Никонов А.С.*

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени  
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
a.s.nikonov@ya.ru

*Панов Ю.Т.*

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени  
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
a.s.nikonov@ya.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

В последние годы под влиянием таких глобальных факторов, как истощаемость природных ресурсов, изменение климата, роста численности населения, стало существенно меняться отношение к домостроению. По причине применения в домостроении неэффективной тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, сооружений и трубопроводов, обеспечивающих отопления жилых и промышленных объектов, происходят потери тепла и увеличения выработки энергии затрачиваемой на ее производство, что влечет за собой не только постоянное увеличение расходов на производство, но и ухудшения экологической ситуации. На рис. 1 представлена диаграмма выбросов углекислого газа в атмосферу при сжигании полезных ископаемых для отопления домов [1].

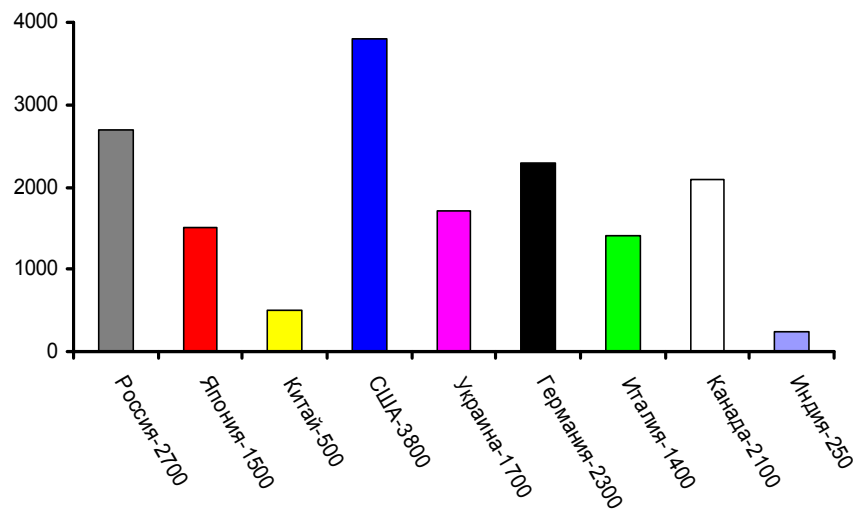


Рис. 1. Диаграмма выбросов углекислого газа при сжигании угля, торфа и древесины сжигаемых для отопления в домах людей в килограммах на человека

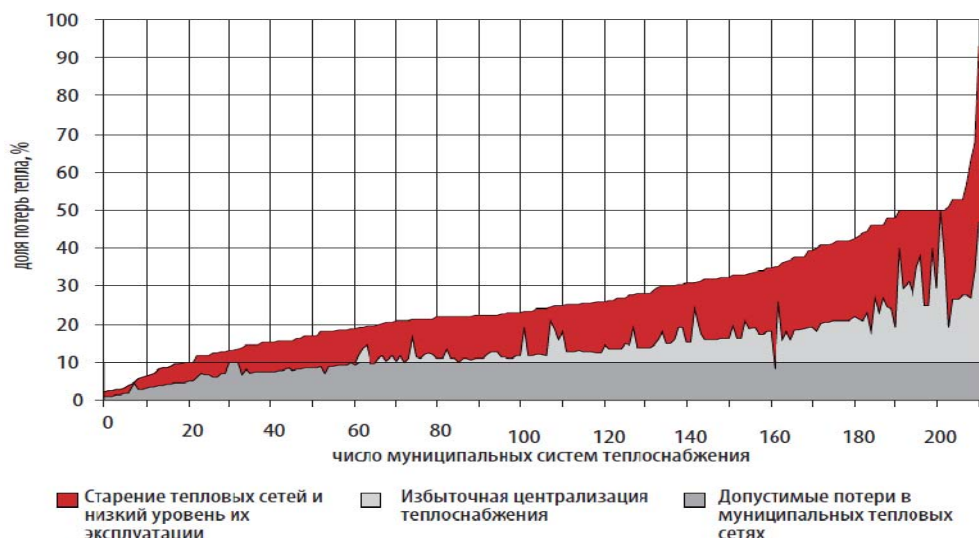


Рис. 2. Распределение 230 российских систем теплоснабжения по уровню потерь в тепловых сетях за 2007 г.

Фактические потери в 70 % систем теплоснабжения (преимущественно в мелких) составляют 20–60 %, доля потерь тепловых сетей на число муниципальных систем теплоснабжения за 2007 г. представлены на рисунке 2 [2].

Только создание энергоэффективных конструкций и использование инновационных, ресурсосберегающих материалов в технологиях «зеленого строительства» может снизить потребление энергии на нужды зданий и сооружений и одновременно оптимизировать использование природных ресурсов.

Современный рынок теплоизоляционных материалов весьма разнообразен, применяемые в настоящее время органических утеплителей на основе пенопластов имеют низкий класс пожароопасности, при горении выделяют химические вещества опасные для здоровья человека. Минераловатные теплоизоляционные материалы обладают высокой степенью водопоглощения, повышенными сорбционной влажностью, что способствует образованию вредных для здоровья человека микроорганизмов. К одному из недостатков таких материалов относится постепенное саморазрушение волокнистой структуры материала, что также неблагоприятно сказывается на здоровье человека, и приводит к снижению теплоизолирующих свойств.

Перспективным направлением по решению вопросов эффективной тепловой изоляции является разработка вспененных материалов на основе неорганических композиционных материалов призванных существенно сократить энергозатраты.

Одним из таких материалов является пеностекло – высокопористый, неорганический, теплоизоляционный материал, получаемый спеканием тонкоизмельченного стекла в присутствии газообразователя и целевых добавок, представляющий собой вспененную стекломассу [3].

Благодаря своему составу теплоизоляция из пеностекла обладает широким температурным диапазоном применения, высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, является негорючим, стойким к агрессивным средам, не дает усадки, легко подвергается механической обработке, склеиванию различными клеями и мастиками, хорошо сочетается с алюмосиликатными вяжущими (цементными, известково-цементными).

Производимое в настоящее время пеностекло традиционно черного или серо-черного цвета. Существенным недостатком этого пеностекла является наличие сероводорода в ячейках материала, плотность получаемого пеностекла  $170\text{--}250\text{ кг/м}^3$ , что обусловлено применением в процессе получения пеноматериала газообразователей углеродного типа (сажа, кокс, антрацит).

Целью данной работы является разработка энергоэффективного пористого неорганического теплоизоляционного материала с кажущейся плотностью до  $100\text{ кг/м}^3$  с улучшенными эксплуатационными свойствами.

В работе использовался стеклобой отходов листового стекла, размолотого до удельной поверхности  $5000\text{--}8000\text{ см}^2/\text{г}$  и имеющего постоянный химический состав:  $\text{SiO}_2$  –

71,25 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,87 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,29 %;  $\text{CaO}$  – 8,0 %;  $\text{MgO}$  – 3,25 %;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 15,64 %, что способствует снижению объемов брака при производстве. Использование измельченного стеклобоя наряду с вопросом тепловой изоляции решает весьма актуальный вопрос утилизации постоянно растущих объемов отходов стекла.

В качестве газообразователя использовалась смесь  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{CaCO}_3$  ( $\text{CaCO}_3:\text{NaNO}_3 = 1,6\%:0,6\%$ ), что позволило получить материал, с мелкопористой равномерной структурой с плотностью менее  $100 \text{ кг/м}^3$ , при сохранении высоких прочностных показателей.

По нашему мнению применение такого газообразователя позволяет растянуть во времени процесс вспенивания, избегая таким образом, резких скачков давления при использовании однокомпонентного газообразователя.

Основные свойства пеноматериала в сравнении с производимым в настоящее время материалом, представлены в таблице.

Таблица 1

Свойства теплоизоляционных материалов

Наименование показателей	Разработанное	Производимое
Внешний вид	Ячеистый материал белого цвета	Ячеистый материал черного цвета
Плотность, $\text{кг/м}^3$	80 – 200	120-300
Прочность на сжатие, МПа	1-3	0,7- 2
Теплопроводности, $\text{Вт/м}^\circ\text{C}$	0,03 - 0,05	0,04 - 0,08
Водопоглощение за 24 часа, % объемные	4	3,2
Рабочий температурный режим, $^\circ\text{C}$	-240 до +600	-250 до +500
Морозостойкость, кол-во циклов	50	50

Предложенная технология позволила получить в промышленных условиях теплоизоляционный материал, который способен решить вопросы тепловой изоляции и энергоэффективности конструкции.

#### Библиографический список

1. Журнал «National Geographic Россия», «Энергия» - специальное приложение к журналу, Май 2009, с. 33-47.
2. Энергоэффективность в России <http://www.protown.ru/information/hide/7938.html>
3. Павлушкин Н.М. Химическая технология стекла и ситаллов. М.: Стройиздат. 1983. 431 с.

**Международная конференция**  
**«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ СРЕДНЕЙ ОЖИДАЕМОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ С УДЕЛЬНЫМ**

*Тимашев С.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

*Никулина И.Г.*

ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

*Ковальчук Т.Г.*

ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

Устойчивое развитие государства зависит от качества инфраструктуры жизнеобеспечения его населения. Продолжительность жизни человека напрямую связано с возможностью сохранения высокого уровня здоровья, активной работоспособностью и социальным благополучием. Средняя ожидаемая продолжительность жизни (далее по тексту – СОПЖ), является одним из основных показателей уровня социально-экономического развития общества, индикатором качества жизни населения стран и регионов.

В работе рассмотрена взаимосвязь СОПЖ с удельным энергопотреблением, которое представляется одной из важнейших компонент системы жизнеобеспечения общества. Удельное энергопотребление на душу населения – это соотношение количества электрической энергии, потребляемой во всех областях человеческой деятельности за определенный период времени, обычно в течение года, и численности населения.

Для решения этой задачи необходимо учесть процент населения ниже черты бедности – уровня располагаемого дохода или потребления, ниже которого человек считается бедным и паритет покупательной способности (далее по тексту – PPP, англ. purchasing power parity) – соотношение двух или нескольких валют разных стран, устанавливаемое по их покупательной способности применительно к определённому набору товаров и услуг[1].

Анализ проведен на выборке из 42 стран, куда включены группа наиболее развитых стран, входящих в «Большую семерку», страны БРИКС, государства – бывшие республики СССР, и некоторые другие страны, имеющие различный уровень благосостояния.

В работе использовались официальные статистические данные, взятые из открытых источников [2-5]. Исходные данные для определения зависимостей приведены в табл. 1. Результаты исследования представлены на рис. 1–3. Из них видно, что чем выше удельное энергопотребление, тем выше уровень экономического развития государства.

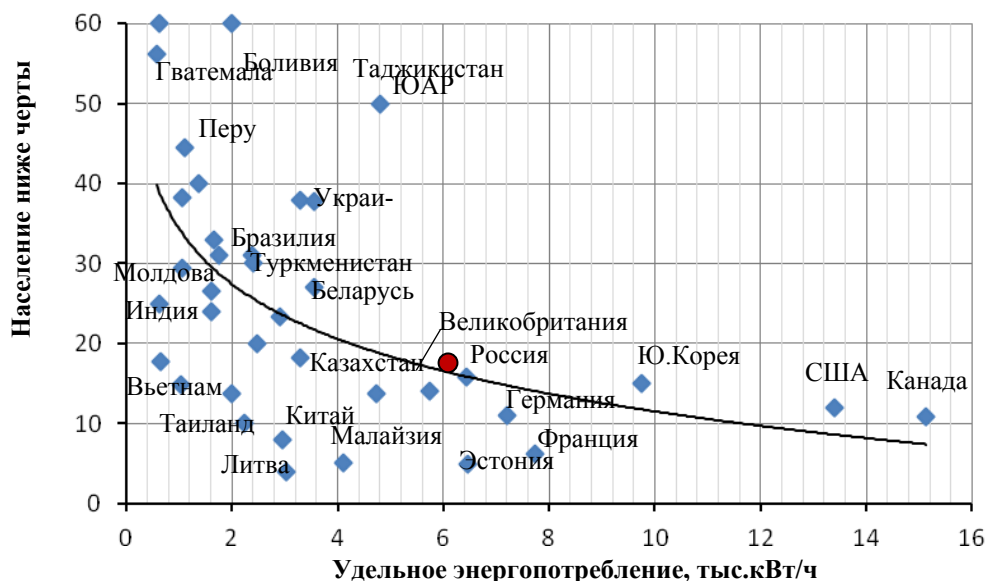


Рис. 1. Зависимость доли населения ниже черты бедности от удельного энергопотребления

## Исходные данные

Страны	Население ниже черты бедности, % [2]	PPP, USD [3]	СОПЖ, лет [4]	Удельное энергопотребление, тыс. квт/час [5]
1	2	3	4	5
Гватемала	56	7062,52	70,29	0,57
Индия	25	5238,02	69,89	0,62
Боливия	60	5934,39	66,89	0,62
Индонезия	18	9254,42	70,76	0,64
Вьетнам	15	5124,64	71,58	1,04
Молдова	30	4520,56	70,80	1,05
Эквадор	38	10135,39	75,30	1,06
Перу	45	11400,42	70,74	1,11
Киргизия	40	3109,87	69,43	1,38
Азербайджан	24	16593,55	66,66	1,60
Армения	27	7526,84	72,68	1,61
Узбекистан	33	5002,50	71,96	1,65
Грузия	31	6936,45	77,12	1,74
Мексика	14	16290,81	76,47	1,99
Таджикистан	60	2431,66	65,35	2,00
Таиланд	10	13931,81	73,10	2,24
Бразилия	31	14555,08	75,35	2,38
Туркменистан	30	13554,93	67,87	2,40
Турция	20	18646,78	71,80	2,48
Аргентина	23	17554,12	76,95	2,90
Китай	8	11524,57	79,35	2,94
Литва	4	24483,00	74,90	3,03
Латвия	нет дан.	21825,00	72,15	3,27
Венесуэла	38	17614,60	73,61	3,29
Чили	18	21714,03	77,70	3,30
Украина	38	8508,01	68,25	3,55
Беларусь	27	17054,56	70,63	3,56
Малайзия	5	22555,79	73,29	4,12
Казахстан	14	22466,73	67,87	4,73
ЮАР	50	12105,55	48,98	4,80
Италия	нет дан.	32929,10	81,77	5,38
Великобритания	14	35013,27	80,05	5,73
Россия	16	23564,21	70,30	6,43
Эстония	5	24481,98	72,82	6,46
Германия	11	42045,25	80,07	7,22
Франция	6	35969,10	81,50	7,73
Сауд. Аравия	нет дан.	52067,97	76,30	7,97
Япония	нет дан.	35481,11	82,25	8,39
Южная Корея	15	32708,11	79,05	9,74
Австралия	нет дан.	42809,93	81,81	10,29
США	12	51450,74	78,37	13,39
Канада	11	41888,78	81,38	15,14

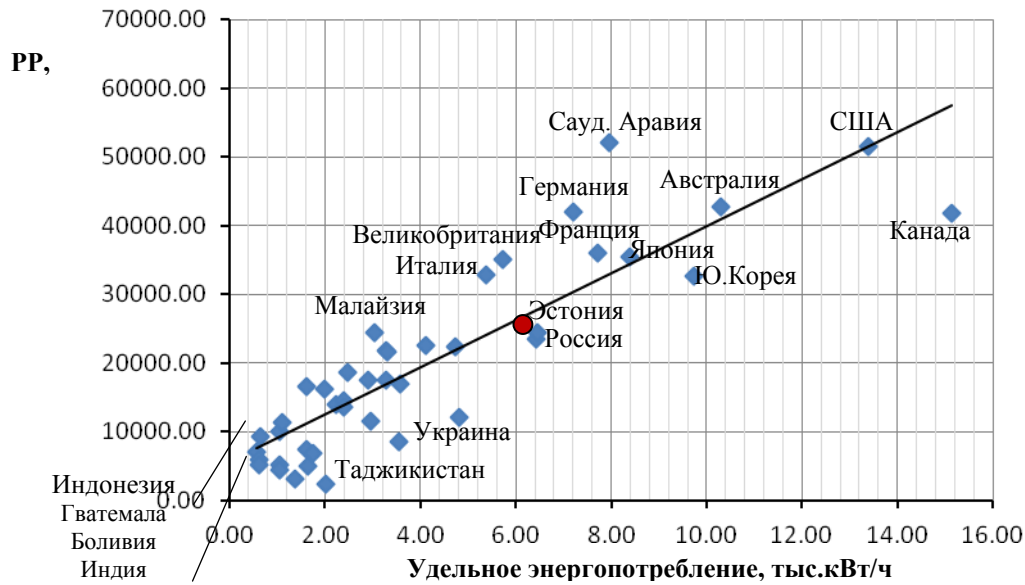


Рис. 2. Зависимость паритета покупательной способности от удельного энергопотребления

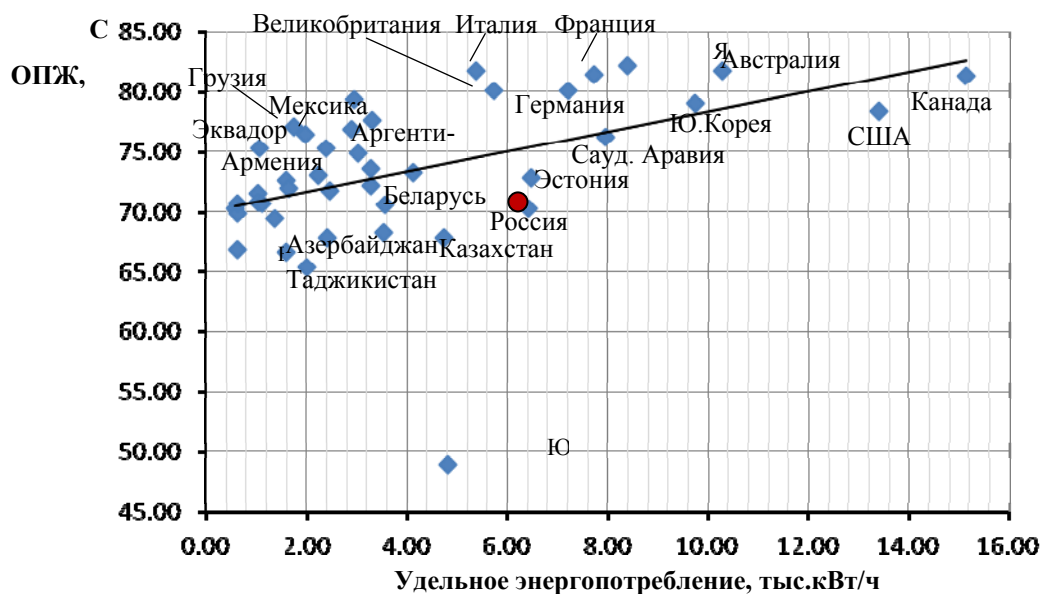


Рис. 3. Зависимость СПЖ от удельного энергопотребления

Таким образом, можно утверждать, что СПЖ линейно коррелирован с удельным энергопотреблением, а энергопотребление на душу населения является объективным показателем уровня экономического развития любой страны.

#### Библиографический список

1. <http://vocable.ru/dictionary/88/word/paritet-pokupatelnoi-sposobnosti>.
2. [http://www.yestravel.ru/world/rating/economy/population\\_below\\_poverty\\_line](http://www.yestravel.ru/world/rating/economy/population_below_poverty_line).
3. <http://ru.tradingeconomics.com/country-list/gdp-per-capita-ppp>.
4. CIA - The World Factbook Life Expectancy. Cia.gov.
5. <http://gtmarket.ru/ratings/electric-power-consumption/info>.



**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОГО ОБЪЕКТА**

*Носков А.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
referetsf@yandex.ru

*Руднов В.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
rudnovV@yandex.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Серьезную опасность при авариях на химически опасных объектах (ХОО) вызывает выброс различных аварийных химически опасных веществ (АХОВ) [1, 2]. Масштабы возможных последствий аварии в значительной степени зависят от типа ХОО, видов АХОВ, их свойств, количества и условий хранения, характера аварии, метеоусловий и др. Главным поражающим фактором при такой аварии является химическое заражение, глубина зоны которого может достигать десятков километров. Отличительной особенностью, возникающей при аварии, является то, что при высоких концентрациях отравляющих веществ возможно поражение людей в короткие сроки. Аварии на ХОО могут сопровождаться взрывами и пожарами.

Анализ частоты возникновения аварий на ХОО РФ [6] за последние 11 лет имеет тенденцию к снижению и в среднем составляет  $2,05 \cdot 10^{-3}$  1/год. Наиболее вероятны аварии со взрывом топливно-воздушной смеси (ТВС) –  $0,8 \cdot 10^{-3}$  1/год, наименее – с разгерметизацией емкостного оборудования –  $0,3 \cdot 10^{-3}$  1/год.

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

- при реконструкции (расширении) производства необходимо закладывать в проектируемые технологические линии только безопасные технологий производства и надежное оборудование;
- проектируемый ХОО необходимо рационально размещать с учетом возможных последствий аварий и исключить возможность распространения АХОВ за пределы санитарно-защитной зоны;
- при реконструкции производственной линии ХОО необходимо проводить комплексный анализ риска аварий со всеми возможными вариантами участвующего в аварии оборудования и разрабатывать обоснование безопасности реконструкции (расширения) ОПО;
- описанные мероприятия, проводимые под руководством Ростехнадзора позволили существенно сократить за последние 11 лет частоту возникновения аварий на ХОО РФ.

В рамках магистерской диссертации было разработано обоснование безопасности реконструкции (расширения) опасного производственного объекта (ОПО) – химического комбината – при проектировании двух технологических линий по производству органических волокон.

В магистерской диссертации разработана схема основных технологических потоков опасных веществ на проектируемой технологической линии ХОО. Также были рассчитаны зоны поражения при различных сценариях развития аварийной ситуации на ХОО: при пожаре пролива, взрыве ТВС или токсическом заражении местности [3-5]. При выполнении работы использовали современное программное обеспечение: «Программный комплекс ТОКСИ+Risk, версия 4.3».

Также была проведена количественная оценка индивидуального и коллективного риска для структурных подразделений химического комбината, ближайших предприятий и селитебных территорий при всех возможных гипотетических авариях на объектах хранения и разгрузки АХОВ. Доля времени, в течение которого работник находится в определенной области территории предприятия, рассчитана на основе принятых решений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования для обеспечения технологического процесса.

Профилактика аварий и снижение ущерба от них должны обеспечиваться комплексом организационных, правовых и технических мероприятий:

- использование безопасных технологий;
- осуществление организационных, технических, специальных и других мер, обеспечивающих высокую эксплуатационную надежность объектов;
- ограничение распространения АХОВ за пределы санитарно-защитной зоны при авариях и разрушениях;
- рациональное размещение ХОО с учетом возможных последствий аварий;
- проведение специальных мероприятий по защите и обеспечению населения, позволяющих снизить масштабы вредного воздействия.

#### Библиографический список

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 31.12.2014) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изм. и доп. вступившими в силу с 31.12.2014)
2. Владимиров В.А. Химические аварии: реальность и тенденции. – М.: Республика, 1995. 160 с.
3. Акимов В.А., Быков А.А., Востоков В.Ю. и др. Методики оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций (Руководство по оценке рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера, в том числе при эксплуатации критически важных объектов Российской Федерации) // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4. № 4. С. 368-404.
4. Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ». М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2014. 36 с.
5. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». М. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2014. 75 с.
6. <http://i-risk.ru/> Информационный портал безопасности и анализа риска iРиск ООО «Айриск»

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО КАК АЛЬТЕРНАТИВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ**

*Носков А.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
referetsf@yandex.ru

*Руднов В.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
rudnovV@yandex.ru

*Девятых И.А.*

ООО «ЛСМ», г. Екатеринбург, Россия  
igor009@mail.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

На существующем уровне мировая цивилизация основана на промышленном производстве, которое использует колоссальные объемы минерально-сырьевых и энергетических ресурсов планеты Земля. Масштабы воздействия хозяйственной деятельности человека на окружающую среду сопоставимы с геологическими процессами и изучаются современной наукой геоэкологией. Большая часть (в отдельных отраслях промышленности до 90 %) извлекаемого из недр сырья является попутным продуктом, отправляемым для захоронения на хвостохранилища, шламбассейны и т.п. Исчерпание природных источников минерального сырья и накопление промышленных и бытовых отходов ставят под сомнение дальнейшее существование человеческой цивилизации.

Одной из ресурсоемких отраслей народного хозяйства является строительство, в котором ресурсосбережение возможно по следующим направлениям:

- замена природного сырья на промышленные отходы, что снизит потребление природных минерально-сырьевых ресурсов, улучшит экологию региона за счет ликвидации промышленных свалок;
- повышение строительно-технических характеристик продукции, энергоэффективности материалов;
- повышение эксплуатационных характеристик материалов и как следствие снижение затрат на ремонтно-восстановительные работы;
- проектирование зданий, сооружений и отдельных строительных конструкций «открытой архитектуры» с возможностью в дальнейшем их модернизации, реконструкции и ремонта.

Промышленность строительных материалов оказывает существенное воздействие на окружающую среду, которое определяется колоссальными объемами производства материалов для строительства. При этом даже частичная замена природного сырья на отходы промышленного производства дает существенный экономический и ресурсосберегающий эффекты. Например, при производстве портландцемента расходуется до 5 % всей энергии мирового производства [3]. При этом основные энергозатраты приходятся на высокотемпературный обжиг сырьевой смеси для получения клинкера, а также на его тонкий помол для получения конечного продукта в диспергированном порошкообразном виде.

В промышленности строительных материалов наиболее перспективный путь снижения энергоемкости производства – это замена портландцемента на безобжиговые вяжущие щелочной активации. Разработка основ технологии данных вяжущих материалов началось еще в 1930-х годах в условиях острого дефицита портландцемента, а системные исследования безобжиговых вяжущих начались в 1950-е годы, под руководством Глуховского В.Д. с

разработки материалов под названием «грунтосиликат», а затем шлакощелочное вяжущее и бетоны [2].

Шлакощелочное вяжущее (ШЩВ) – реальная энергоэффективная альтернатива портландцементу. ШЩВ – это гидравлическое высокопрочное вяжущее, состоящее из тонкомолотого шлака и щелочного активатора твердения (сода, жидкое стекло и т.д.) [1]. Промышленное производство ШЩВ не связано с необходимостью высокотемпературного синтеза клинкера, что резко снижает энергозатраты по сравнению с изготовлением портландцемента хотя и сохраняется энергоемкий технологический передел – тонкое измельчение техногенных отходов – металлургических шлаков.

В настоящее время в Строительном институте Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина проводятся исследования прочностных характеристик лабораторных партий ШЩВ, получаемого из местного молотого доменного гранулированного шлака производства ООО «Мечел-материалы» по ТУ 0799-001-99126491-2013 и жидкого стекла (ЖС) из минерального сырья. ЖС было изготовлено полупромышленным способом и в процессе приготовления можно было варьировать его качественные характеристики: кремнеземистый модуль от 1,3 до 1,7, плотность 1500 кг/м<sup>3</sup>. ЖС изготавливали из цеолитсодержащей кремнистой горной породы месторождений Свердловской области при низкотемпературной (95-105°C) обработке. Дозировка жидкого стекла составляла от 2 до 20 % от шлака по сухому ЖС.

В настоящее время в Российской Федерации не существует нормативных документов, регламентирующих качественные показатели ШЩВ, поэтому испытания проводили по нормативным документам для портландцемента. Как известно [2, 4], ШЩВ имеет более медленную кинетику набора прочности по сравнению с портландцементом и на 7 суток набирает не более 50 % от прочности в возрасте 28 суток. Зависимость прочности ШЩВ после твердения в течение 7 суток от количества вводимого ЖС с разными модульными характеристиками приведена на рис. 1.

В процессе лабораторных исследований установлено, что ШЩВ по ряду характеристик превосходит портландцемент, например, возможно получение более высокопрочных и жаропрочных бетонов и при их изготовлении допускается введение заполнителей пониженного качества и не соответствующих ГОСТ по содержанию пылевидных и глинистых частиц.

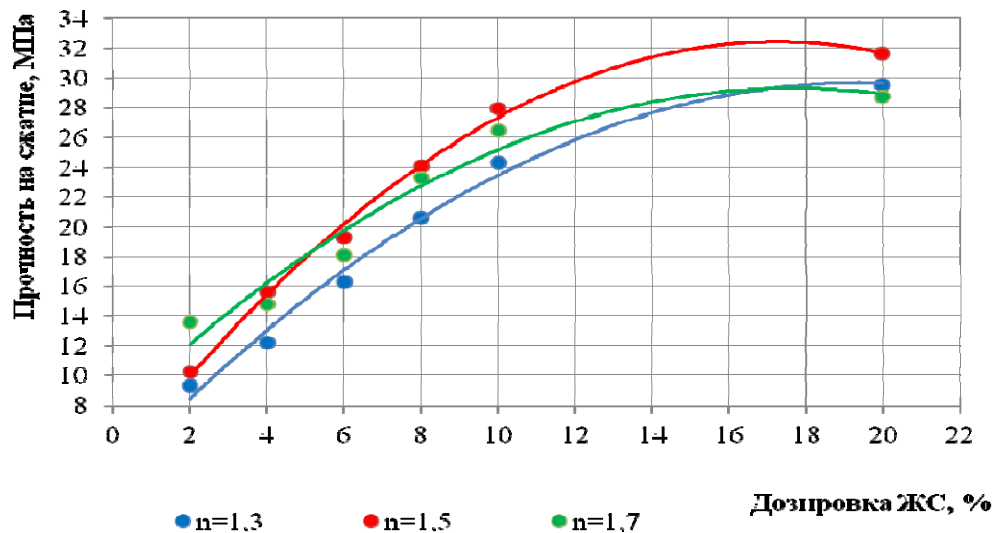


Рис. 1. Зависимость прочности ШЩВ от количества ЖС

В нашей стране в настоящее время осуществляется постепенный переход от экономической системы, основанной на добыче и импорте минеральных ресурсов к высокотехнологичной экономике. В связи с этим разработка и внедрение ресурсо- и энергоэффективных технологий промышленного производства строительных материалов на основе техногенных отходов является особо актуальной задачей. В Екатеринбурге в июле 2015 г. планируется производство опытно-промышленной партии тяжелого бетона на ШЩВ с проведением комплекса исследований эксплуатационных характеристик полученных конструкций.

#### Библиографический список

1. Артамонова А.В., Воронин К.М. Шлакощелочные вяжущие на основе доменных гранулированных шлаков центробежно-ударного измельчения // Цемент и его применение. 2011. № 7-8. С.108-113.
2. Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны // Киев, 1978. 178 с.
3. Корнеева Е.В., Павленко С.И. Бесцементное вяжущее из техногенных отходов для золошлаковых смесей // Сухие строительные смеси. 2008. № 2. С.54-55.
4. Рахимова Н.Р. Шлакощелочные вяжущие с добавками молотого боя керамического кирпича // Известия КазГАСУ. 2007. №2 (8). С.83-88.



**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЯХ**

*Перминов Р.Э.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
shaftcom@gmail.com

*Носков А.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

*Мальцева И.Н.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

*Хаит А.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

*Попова М.Н.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**



## Введение

Авторами статьи была поставлена задача создания приближенной к реальности модели ограждающих конструкций для анализа потребления энергии зданий в разных климатических зонах. Анализ был проведен на разработанной модели здания, которая позволяет имитировать его поведение в изменяющихся в зависимости от параметров внешней и внутренней среды условиях. Программа написана на языке Python 2.7, что позволило сделать её гибкой, быстро вносить корректировки, адаптировать для поставленных задач и при необходимости добавлять новые факторы. Верификация результатов расчета была произведена путем сравнения с ведущими программными комплексами, такими как TRNSYS, EnergyPlus и BEPS [1].

## Численная модель

Модель представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих расчетное здание. Нестационарные уравнения энергетического баланса характеризуют каждый фрагмент здания в отдельности: стены, пол, покрытие или чердачное перекрытие и температуру внутреннего воздуха. Расчетный период времени – 1 год с шагом изменения температур (граничных условий) – 1 час и заданным шагом по времени  $\Delta t$ . Для сравнения и проверки результатов расчета был принят тип ограждающих конструкций согласно отчету [2].

## Геометрия расчетного здания

Рассмотрен стандартный двухэтажный блок в форме параллелепипеда: 10x10 м в плане, высотой этажа – 3 м. Суммарный отапливаемый объем составляет 600 м<sup>3</sup>, а площадь – 200 м<sup>2</sup>.

## Климатические данные

В качестве климатических данных приняты почасовые среднемесячные значения: температур наружного воздуха и грунта, поверхностной плотности потока прямого солнечного излучения и поверхностной плотности потока горизонтального рассеянного излучения. Почасовые профили температур были приняты по данным [3] измерений метеорологических станций для Милана, Рима и Палермо.

## Наружные ограждающие конструкции

Каждая ограждающая конструкция условно делится на необходимое количество слоев, в зависимости от материала, толщины слоя и необходимой точности расчета. Слои приняты однородными и без внутренних поступлений тепла, поэтому задача рассмотрена как одномерная. Распределение температуры внутри слоя описывается уравнением теплопроводности Фурье с граничными условиями первого и второго рода. Для крайних слоев гра-

ническими условиями являются температуры внутреннего и наружного воздуха и тепловые потоки от конвекции и излучения. Уравнения Фурье решаются для каждого шага времени  $\Delta t$  методом конечных разностей. Результатом являются графики распределения температуры в толще ограждающих конструкций по времени.

### Параметры внутренней среды

Внутренняя среда здания смоделирована как единый объем воздуха с собственной теплоемкостью. В виде тепловых потоков в расчете учтены потери/поступления тепла от системы вентиляции, прямое солнечное излучение через светопрозрачные конструкции, поступления от внутренних источников тепла (люди, бытовая техника и т.п.) и работа приборов отопления/кондиционирования [4]. С помощью приборов отопления и кондиционирования в течение расчетного периода поддерживается температура внутреннего воздуха  $T_{int, i} = 19,3^{\circ}\text{C}$  с допуском  $2^{\circ}\text{C}$ . Уравнение энергетического баланса описывает взаимосвязь теплоемкости и температуры внутреннего воздуха и тепловых потоков внутри здания. Отсюда находится температура внутреннего воздуха для каждого последующего момента времени, а из суммарной работы приборов отопления складывается потребность в энергии на отопление  $1 \text{ м}^2$  здания.

### Результаты

Результаты годового расчета с применением разработанной модели приведены на рис. 1. Сравнивая результаты можно констатировать, что все расчетные программы предсказывают похожие значения потребления энергии на отопление для различных климатических условий [5,6]. Основные результаты проделанной работы:

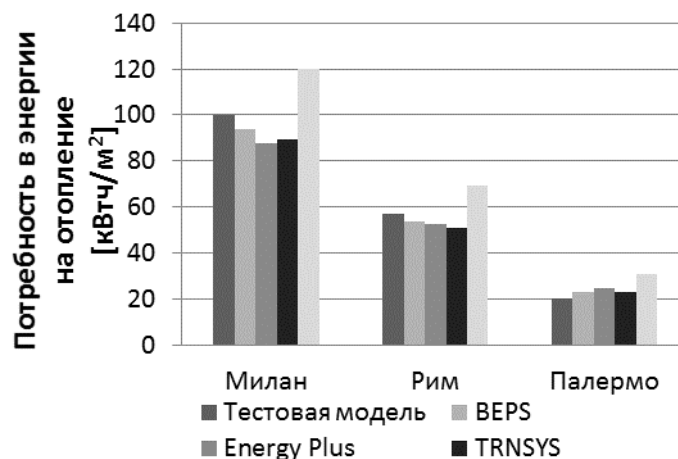


Рис. 1. Сравнение оценки потребности в энергии на отопление для различных городов

Произведена верификация расчетной программы по показателю потребности в энергии на отопление.

Проведена оценка минимальной необходимой мощности отопительного прибора.

С помощью данной модели можно проводить расчеты регулируемых систем отопления/кондиционирования и разрабатывать алгоритмы их работы.

Модель позволяет производить расчеты темпов остывания здания [7].

Разработанная нами модель расчета позволяет не только оценить отопительную нагрузку здания в различных климатических условиях, но и позволяет получить профиль температур в толще ограждения в любой момент времени. Это дает возможность комплексно прогнозировать совместную работу конструкций и инженерных систем уже на стадии проектирования с минимальными затратами времени.

#### Библиографический список

1. De Rosa M. Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach [Electronic resource] / M. De Rosa, V. Bianco, F. Scarpa, L. A. Tagliafico // Applied Energy. — 2014. — Vol. 128. — P. 217–229.
2. Caputo P, Costa G, Zanotto V. Rapporto sulla validazione del modulo edificio Report ENEA RdS/2011/33 (2011) (in Italian), ENEA. URL: [http://www.enea.it/it/Ricerca\\_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/efficienza-energetica-servizi/rds-33.pdf](http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/efficienza-energetica-servizi/rds-33.pdf) [date of access 12.03.15].
3. Weather Data, U.S. Department of Energy. URL: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata\\_about.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm) [date of access 12.03.15].
4. Кувшинов Ю. А. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий : [монография] / Ю. А. Кувшинов .— Москва : АСВ, 2010 .— 320 с.
5. Табунщиков Ю. А. Оценка годового расхода энергии на отопление и охлаждение зданий / Ю. А. Табунщиков // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. — 2013. — № 3. — С. 56–63.
6. Шкловер А. М. Температурный режим помещения и определение теплотерь / А. М. Шкловер // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. — 2012. — № 4. — С. 92–97.
7. Малявина Е. Г. Расчет темпа остывания помещения после отключения теплоснабжения / Е. Г. Малявина // Промышленное и гражданское строительство. — 2015. — № 2. — С. 55–58.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОСЛЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ И КАТАСТРОФ**

*Платонов А.М.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия,  
a.m.platonov@urfu.ru

*Ларионова В.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
v.a.larionova@urfu.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Природно-техногенные аварии и катастрофы как неотъемлемые спутники прогресса представляют огромную опасность для развития социально-экономических систем. Особенно это касается опасных и особо опасных производств и критически важных для функционирования социально-экономических систем объектов. Скорейшее восстановление разрушенных после чрезвычайных ситуаций предприятий и объектов жизнеобеспечения является актуальным в обстановке постоянного нарастания природно-техногенных рисков.

Целью исследования является разработка теоретико-методологических положений и моделирование экстремальных проектов по восстановлению опасных и особо опасных производств и критически важных объектов. Предложена имитационная модель таких нетрадиционных (экстремальных) инвестиционно-строительных проектов, учитывающая вероятностный характер и мультисценарность их возникновения, а также особые условия реализации.

В результате исследований разработана система прогнозирования места и времени возникновения природно-техногенных аварий и катастроф и их возможных катастрофических последствий. С учетом этого предложены основные направления разработки и реализации таких нетрадиционных проектов по восстановлению потенциала опасных и особо опасных производств и критически важных объектов. Основное внимание уделено при этом этапам экстремальных инвестиционно-строительных проектов, направленных на восстановление в кратчайшие сроки и с наименьшими затратами опасных и особо опасных производств и критически важных объектов для их последующего нормального функционирования.

Экстремальный инвестиционно-строительный проект представляется как открытая система взаимосвязанных показателей, характеризующих результативность действий всех его участников. В отличие от традиционных инвестиционно-строительных проектов эффективность проекта определяется как минимаксная функция затрат, времени и качества работ по восстановлению опасных и особо опасных производств и объектов жизнеобеспечения. Для ликвидации последствий природно-техногенных аварий и катастроф требуется мобилизация материальных и трудовых ресурсов, оптимизация логистических потоков, минимизация продолжительности подготовительных предпроектных этапов восстановительных строительно-монтажных работ [1]. Таким образом, заранее продуманный и сформированный организационный план и механизм реализации экстремальных проектов позволит осуществить комплекс восстановительных работ в минимальные сроки.

Разработанная имитационная модель экстремального инвестиционно-строительного проекта, связывающая основные входные параметры проекта с показателями эффективности и учитывающая вероятностный характер наступления аварийной ситуации, дает основание

для формирования набора прогнозных риск-карт и сетевых моделей реализации нетрадиционных (экстремальных) инвестиционно-строительных проектов по ликвидации последствий природно-техногенных аварий и восстановлению жизненно важных критических объектов.

Библиографический список

1. Егоров А.Н. Строительный менеджмент для чрезвычайных ситуаций (теория и методы): монография. СПб.: СПбГАСУ, 2005, 132с.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА В УРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ**

*Плешков С.Ю.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
psj-5@yandex.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Перед Россией стоит важная задача снижения энергоемкости экономики на 40 % к 2020 году. Сейчас она одна из самых высоких в мире: 0,49 тонны нефтяного эквивалента (т.н.э.) на 1 тыс. долл. ВВП (в мире в среднем 0,21 т.н.э) [1]. Большой резерв экономии кроется в жилищном секторе, потребляющем, по данным Фонда «Институт экономики города», до четверти годовых энергоресурсов страны. При этом 65 % расходов энергии приходится на отопление, 18% – на горячее водоснабжение и 17 % – на прочие нужды.

Не секрет, что страна находится у пределов определённых физических возможностей энергоресурсов. Исходя из темпов мирового потребления энергии, можно смело утверждать, что уже в XXI веке человечество и россияне, в частности, столкнутся с интенсивным нарастанием энергетических проблем.

Учитывая крайне низкую энергоэффективность жилых и административных зданий в России, которая выражается в высокой теплоотдаче, большая часть энергии, предназначенной для отопления, попросту уходит безвозвратно в космос. Это происходит из-за отсутствия хорошей теплоизоляции, обеспечивающей герметизацию здания и предохраняющей его от температурных колебаний.

Производимые в России стеклопакеты не отвечают современным требованиям. Крайне тяжело разрабатываются и принимаются к эксплуатации системы рекуперации. И совсем непозволительно в Уральском регионе относятся к тепловым мостам, являющимся причиной потерь до 1/3 тепловой энергии. Наиболее уязвимыми для мостиков холода являются способы монтажа дверей и окон. Не обращается должного внимания на выступающие декоративные элементы здания и балконы.

Каков выход из, казалось бы, тупиковой ситуации? Выход очевиден: России необходимы политические решения на высшем государственном и региональных уровнях, стимулирующие энергоэффективное строительство с целью обеспечения энергетической безопасности страны. Необходима национальная концепция энергосбережения.

В данной работе мы докажем, что долгосрочные инвестиции в энергоэффективное строительство в Уральском регионе с применением энергосберегающих технологий рентабельны, а также покажем простой пример расчета недорогих, но высокоэффективных специальных теплоизоляционных элементов Schöck Isokorb® – арматуры из высокосортной нержавеющей стали с термовкладышами (рис. 1), которые рассчитываются и изготавливаются пока только в немецкой компании «Schöck». Их применение в строгом соответствии с сертифицированными расчетами позволяет практически полностью избавиться от пагубного влияния тепловых мостов.





Рис. 1. Несущие теплоизоляционные элементы компании «Schöck», применяемые в строительстве пассивных домов.

С помощью компьютерной программы, разработанной специалистами немецкой компании и предоставленной автору статьи, произведём расчёт такого элемента для балкона длиной 4,00 м, шириной 1,80 м и толщиной 200 мм. Тип крепления балкона: плита-плита, толщина плиты  $h = 200$  мм, вертикальное смещение плиты  $H_V = 0$  мм. Ширина опоры  $w = 240$  мм, выступы справа и слева отсутствуют.

В результате работы расчетной программы получили следующие параметры необходимого теплоизоляционного элемента isokorb® (схема расчетных нагрузок представлена на рис. 2).

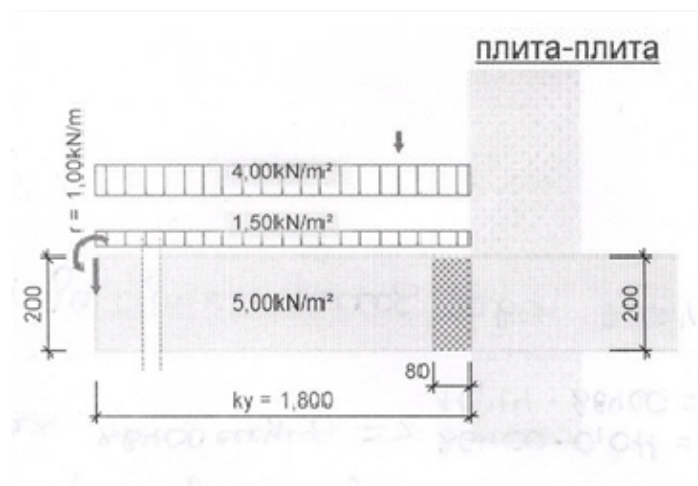


Рис. 2. Схема расчетных нагрузок на элементы балконной плиты и теплоизоляционный элемент isokorb®.

Необходимо выполнить толщину изоляции балкона – 80 мм, защитный слой – 35 мм. Высота элемента isokorb® – 200 мм. Минимальный класс бетона – C25/30. В данном случае применяется арматура BSt500 (по номенклатуре компании). Наименование элемента K30-CV35-H200, его схема представлена на рис. 3.

Безусловно, для освоения собственного производства таких изделий потребуются значительные затраты. Однако, если руководствоваться стратегической задачей энергосбережения, если в числе основных приоритетов в строительстве будет значиться комфортное и доступное жилье для граждан России, то «закрывать глаза» на проблему тепловых мостов или «мириться» с ней – недопустимо!

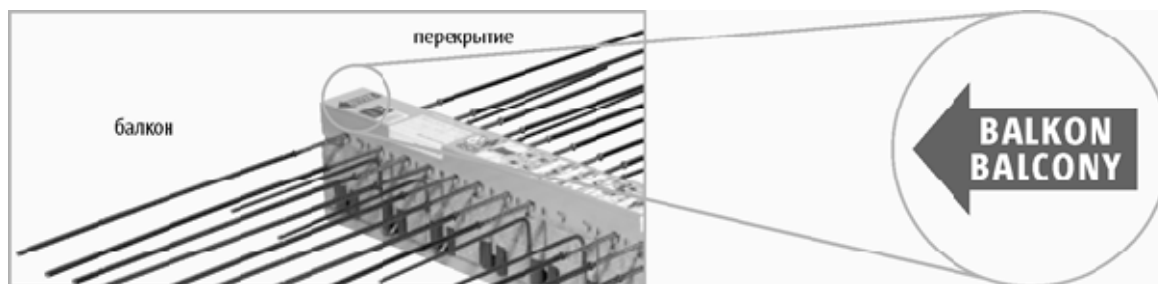


Рис. 3. Внешний вид и направление установки теплоизоляционного элемента Schöck Isokorb K30-CV35-H200.

Так возможно ли энергоэффективное экономически выгодное строительство, отвечающее стандартам пассивного дома в Уральском регионе? Безусловно – да.

Если воспользоваться методикой расчётов, предоставленной автору статьи специалистами проектно-консалтингового института «Luwoge consult» из г. Людвигсхафен (Германия), то можно констатировать, окупаемость затрат на строительство жилых объектов в стандарте пассивного дома с привлечением заемного капитала через 25 лет; строительство за счет собственных средств окупится уже через 10 лет (рис. 4).

Строительство пассивного дома позволяет экономить значительную часть энергетических издержек и инвестировать эту экономию в более высокое качество здания, а также решать проблему энергосбережения в условиях холодного климата, что крайне актуально для Уральского региона.

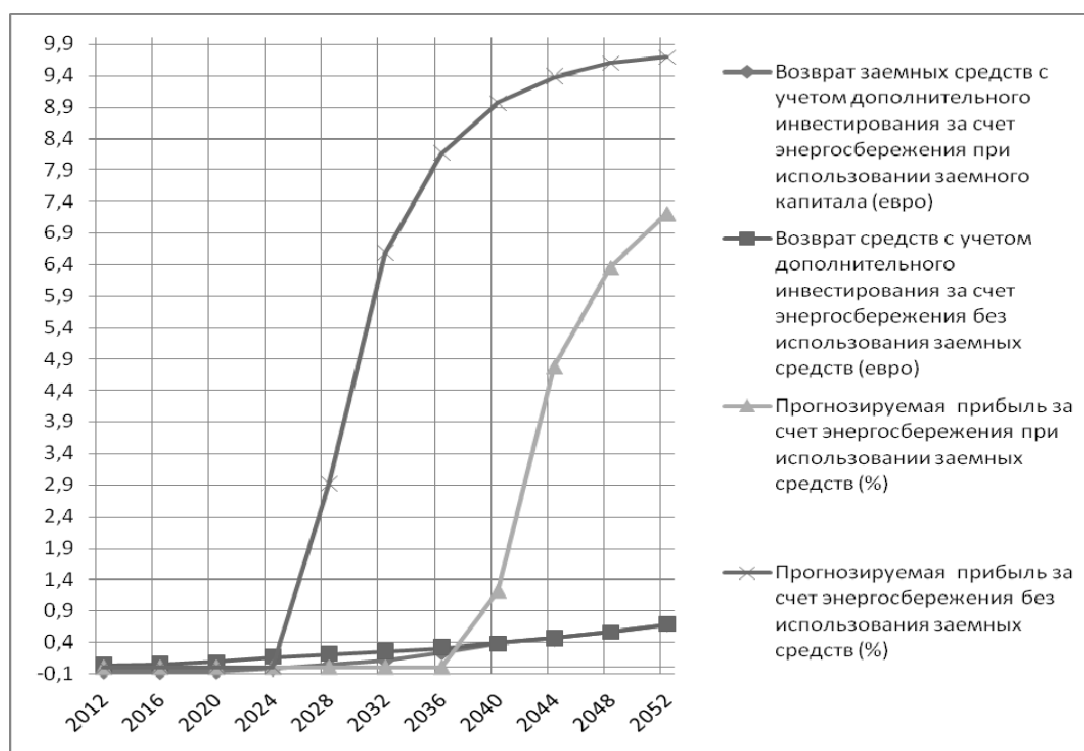


Рис. 4. Динамика возврата заемных средств при долгосрочных инвестициях и прогнозируемая прибыль за счет энергосбережения при использовании заемного капитала и без использования заемных средств

Оправдается ли пассивный дом только сэкономленными энергетическими издержками? Это, естественно, зависит от обстоятельств цены на энергетические ресурсы в будущем.

Очень вероятно, что она будет выше, чем в данный момент. Однако, ежегодные суммы расходов для пассивного дома могут быть ниже уже сегодня, чем для обычной новостройки (от 5 до 10 %). Опытные архитекторы и специалисты по эксплуатации зданий в дальнейшем будут сокращать издержки за счет внедрения новейших технологий и, соответственно, тем самым увеличивать процент возврата затраченных денежных средств.

Разрушение психологии энергорасточительства, рассмотрение энергии как вечно доступной, дешевой и неисчерпаемой поможет в конечном итоге перейти российскому обществу к энергосберегающему сознанию.

#### Библиографический список

1. Дома греют космос. Российская газета: Экономика УРФО от 20 04 2015 г. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.rg.ru/2015/04/20/doma.html> (дата обращения 22.05.2015).

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И СТЕПЕНИ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ПАНЕЛЕЙ ИЗ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА**

*Сальников В.Б.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
9122490591@mail.ru

*Беяков В.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
belyakow@rambler.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Эффективность использования бюджетных ассигнований, выделяемых на ремонт жилого фонда, может быть значительно повышена при модернизации определения показателей и степени физического износа панелей наружных стен.

Такая модернизация должна предусматривать разработку технического регламента и стандартов, определяющих порядок и методологию определения показателей физического износа панелей из ячеистого бетона, а также порядок последующих ремонтно-восстановительных мероприятий.

Рассмотрим на примере стен из ячеистого бетона перспективы уменьшения затрат на ремонт наружных стен домов старой застройки. Этот конструктив выбран нами, так как показатели на него в существующих нормативах полностью отсутствуют.

Опыт 60-ти летней эксплуатации панельных стен из ячеистого бетона в г. Екатеринбурге показал возможность их использования до наступления аварийного состояния в течение срока эксплуатации 125 лет, установленного в свое время Госстроем СССР [1] в качестве норматива долговечности этих панелей.

Условием достижения такого срока службы является использование достоверных показателей физического износа этих панелей. Между тем, как отмечено выше, в существующих нормативных документах эти показатели отсутствуют.

Между тем для многих конструкций эти величины пока не определены. В частности, в существующих действующих нормативных документах панели из ячеистого бетона вообще упомянуты весьма поверхностно. При этом в некоторых регионах площадь эксплуатируемых зданий с такими ограждениями составляет около 10 миллионов квадратных метров общей площади.

Разработка технического регламента выбора показателей и степени физического износа панелей позволит с наибольшей достоверностью определять необходимость, объем и сроки ремонта наружных стеновых панелей. Появится возможность оптимизировать затраты на ремонт поскольку показатели, определяемые в настоящий момент по субъективным критериям, будут определяться нормативным документом.

Необходимо заметить, что субъективное определение степени физического износа приводит, с одной стороны, к необоснованному увеличению затрат на планируемый объем ремонта и, следовательно, к возможности нецелевого использования средств, с другой, недооценка затрат на ремонт может привести к аварийному состоянию здания ввиду несвоевременного выполнения ремонтно-восстановительных работ.

В настоящее время при оценке показателей износа панелей из ячеистого бетона с использованием методики ВСН возможен разброс показателей в пределах  $\pm 30\%$ . Применение методики после ее модернизации позволит уменьшить эту величину до достоверного уровня.

Особенно большое значение имеет использование достоверных показателей степени физического износа при определении характеристик утепляющего слоя: можно выбрать наиболее эффективный способ утепления (наибольший экономический эффект от утепления панели может быть достигнут при равновеликой долговечности утепляющего слоя и основания – панели).

Уменьшение затрат на ремонт панельных стен может быть достигнуто при одновременном комплексном выполнении ремонта защитно-отделочного слоя панели и устройстве наружного утепления.

Особенностью стеновых панелей из ячеистого бетона является то, что ячеистый бетон в них по проекту защищен от атмосферных воздействий отделочным слоем, долговечность которого, т.е. водозащитные свойства, определяют долговечность всей панели [2].

В настоящее время показатели и степень физического износа панелей из ячеистого бетона определяются по факторам, аналогичным с панелями из плотных бетонов. При этом определяющий для панелей из ячеистого бетона фактор – влажность – не учитывается. Между тем, установлено, что при влажности бетона менее 6 % по массе коррозия арматуры в нем не происходит. В свою очередь влажность материала панели определяется состоянием защитно-отделочного слоя, оценка состояния которого также не подразумевается используемыми в настоящее время методиками.

Исследования [3] показали, что при сохранении водозащитных свойств отделки, прочностные показатели и морозостойкость ячеистого бетона играют второстепенную роль при оценке степени износа наружных панельных стен.

Поэтому естественно разделить показатели износа на две группы: первая – показатели влажностного состояния материала панели (водозащитные свойства отделки, влажность ячеистого бетона), вторая – прочностные показатели, характеризующие собственно износ ячеистого бетона.

Таким образом, изменение нормативной базы по определению степени физического износа панелей является актуальной и насущной задачей, стоящей перед научным сообществом, решение которой позволит с высокой степенью достоверности решить широкий круг вопросов по проблеме ремонта фасадов зданий старой застройки, а именно:

- определение долговечности (срока службы) панели до наступления нормативных значений степени физического износа, соответствующей аварийному состоянию панели;
- возможность реструктуризации объектов, подлежащих ремонту по степени физического износа панелей;
- выбор комплексного конструктивного решения состава стены, подлежащей ремонту, с учетом теплофизических свойств и прогнозируемой долговечности утеплителя;

- реальный объем финансирования, необходимый для выполнения ремонта наружных стен, в размерах, удовлетворяющих степени физического износа наружных стен, подлежащих ремонту в планируемом году;
- разработку программы планирования сроков и состава ремонтных работ для групп зданий в отдельном микрорайоне или городе.

Библиографический список

1. ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий»
2. Е.С. Силаенков Долговечность изделий из ячеистого бетона. М.: Стройиздат. 1986г. 176 с.
3. Отчет (заключительный) о научно-исследовательской работе «Разработка нормативов теплотребления для жилых домов различных групп со сроком эксплуатации более 20 лет», ОАО институт «УралНИИАС», Екатеринбург 2000. 30 с.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАББРОВОГО МАССИВА В ОСНОВАНИИ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ «ЕКАТЕРИНБУРГ-СИТИ»**

*Скалин А.А.*

ООО «Научно-производственное объединение «Уралгеоэкология»,  
г. Екатеринбург, Россия  
uralgeo@bk.ru

*Скалин А.В.*

ООО «Научно-производственное объединение «Уралгеоэкология»,  
г. Екатеринбург, Россия  
uralgeo@bk.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**



Гидрогеомеханические исследования выполнялись в составе комплексных инженерных изысканий интрузивного габбрового массива в основании уникального объекта капитального строительства – 52-этажной башни «Исеть» с 4х уровневый подземным паркингом МФК делового центра «Екатеринбург-СИТИ» на Среднем Урале [1, 2].

Геофильтрационная структура интрузивных массивов определяется развитием зон региональной и тектонической трещиноватости. Сочетание слабоводоносных зон региональной трещиноватости с локальными водоносными зонами тектонической трещиноватости привело к формированию представлений о корово-блоковой структуре интрузивных массивов. Идею об использовании подземных вод в качестве универсального индикатора геомеханики скальных массивов одним из первых предложил В.А. Мироненко, введя понятие «гидрогеомеханики».

В качестве самого простого теста оценки геофильтрационной анизотропии габбрового массива может служить определение величины среднеквадратичного отклонения логарифма водопроводимости, определенной по данным опытных откачек из однотипно оборудованных скважин. В соответствии с известными критериями, предложенными Б.В. Боровским и Л.С. Язвиным, в весьма неоднородных пластах удельные дебиты скважин различаются более чем в 10 раз, а среднеквадратичное отклонение логарифма водопроводимости составляет 0,4. На основе параметрической оценки геофильтрационного поля на исследуемом участке габбрового массива можно выделить два слабоводопроницаемых блока, между ними проходит водоносная зона субмеридионального простиранья – естественная подземная дрена.

Для уточнения параметров и простиранья водоносной зоны на изучаемом участке габбрового массива в зимнюю межень 2008 г. проведена опытная кустовая групповая откачка одновременно из трех центральных скважин 18б, 01в и 20в с суммарным дебитом 950 м<sup>3</sup>/сут. В результате такого «просвечивания» габбрового массива гидравлическим возмущением было подтверждено субмеридиональное простиранье водоносной зоны тектонической милонитизации, а также практически пренебрежимо малые понижения в слабоводопроницаемых блоках региональной трещиноватости. Схема гидроизогипс воронки депрессии подземных вод при опытной кустовой откачке хорошо коррелируется со схемой глубин кровли скальных пород (геоэлектрическое поле с удельным электрическим сопротивлением  $\rho_k > 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ). Глубина тектонического нарушения габбрового массива увеличивается в субмеридиональном направлении к Верх-Исетскому тектоническому разлому от 40 м до 60 м и более.

Исследованию взаимосвязи речных вод Городского пруда и трещинно-жилых подземных вод, приуроченных к зоне повышенной трещиноватости габбрового массива, помог необычный миграционный эксперимент. Из-за «несогласованности действий коммунальных

служб» производился многомесячный «налив» горячих вод из теплотрассы в количестве около 100 м<sup>3</sup>/сут в указанную зону трещиноватости. В результате единовременных замеров температуры подземных вод в скважинах-пьезометрах был установлен ореол теплых подземных вод с температурой более 15°C (при фоновой 7°C) размерами около 60х300 м. По данным термометрии, в скважине 01в зафиксирована максимальная температура 24,5°C на глубине 30,5 м. При разгрузке теплых подземных вод водоносной зоны тектонической нарушенности габбрового массива в Городской пруд в конце зимней межени 2008 г., на льду р. Исеть образовалась полынья. Это явление можно рассматривать как важное свидетельство активной взаимосвязи подземных и речных вод.

Для подтверждения угла падения зоны дробления (около 700), к которой в свою очередь приурочена водоносная зона, было решено выполнить поинтервальные откачки по мере углубления скважины 18. При глубине скважины 40 м дебит откачки составлял 1,4 дм<sup>3</sup>/с при понижении уровня на 15,3 м, а после вскрытия тектонической зоны дробления на глубине 50 м дебит увеличился до 3,5 дм<sup>3</sup>/с при понижении уровня 25 м.

Таким образом, гидрогеомеханические исследования габбрового массива позволили установить геометрические размеры тектонической приразломной клиновидной структуры: ее ширина на урезе Гороского пруда около 65 м, а на южной части площадки – около 30 м; простирание – субмеридиональное, а падение – восточное под углом около 700. Водопроницаемость водоносной зоны тектонического нарушения достигает 100 м<sup>2</sup>/сут, а в слабОВОДOPоницаемых блоках на один-два порядка меньше.

В условиях техногенного химического и теплового загрязнения геологической среды в мегаполисах при обосновании высотного строительства отдается предпочтение скважинным методам геофизики по сравнению с наземными.

Применительно к изучаемой площадке в результате проведения инженерно-экологических изысканий были обнаружены линзы минерализованных до 4 г/дм<sup>3</sup> подземных вод под техногенными грунтами – своеобразные водные вытяжки из обломочных грунтов зоны аэрации, формирующейся при инфильтрации талых и дождевых вод (при естественной фоновой минерализации подземных вод около 0,4 г/дм<sup>3</sup>). Кроме того, было закартировано тепловое загрязнение подземных вод вследствие утечки горячих вод из теплотрассы. Известно, что при проведении наземных сейсмометрических работ нужно учитывать следующее обстоятельство: скорость продольных волн увеличивается с ростом минерализации и повышении температуры. При производстве площадных электрометрических работ также следует иметь в виду, что на удельное электрическое сопротивление водонасыщенных пород определяющее влияние оказывает минерализация подземных вод. По результатам каротажа 57 скважин водонепроницаемые интервалы ( $K > 1$  м/сут) приурочены к трещиновато-жильным

коллекторам к дайкам хрупких жильных пород мощностью 0,1 – 1 м, которые по акустическому каротажу диагностируются высокими скоростями продольных волн; по гамма-каротажу – увеличением гамма-фона почти в 3 раза; по электро-каротажу – увеличением почти на порядок кажющегося геоэлектрического сопротивления; по расходомерии при наливе – интервалом водопоглощения.

В северной части площадки была выполнена сейсмотомография, где геологическая среда «просвечивалась» сейсмическими лучами путём возбуждения упругих колебаний в одной из скважины и приеме их в другой. В качестве источника возбуждения упругих волн использовался невзрывной электрогидравлический источник сейсмических волн «Искра 20/70». Сейсмотомография подтвердила вывод, сделанный по результатам гидрогеомеханических исследований, о наличии тектонического нарушения восточного падения.

В южной части площадки простирание и падение зоны тектонического нарушения наглядно можно проследить при сопоставлении послойных схем-разрезов кажущихся геоэлектрических сопротивлений, построенных по данным электрокаротажа. Инженерно-геологическая модель участка Шувакишского габбрового массива, принята с учетом тектонического оперяющего нарушения от Верх-Исетского разлома, к которому приурочена долина р. Исеть. Приразломная зона повышенной трещиноватости имеет клиновидную форму в плане: возле уреза Городского пруда ее ширина составляет около 65 м, в южной части площадки застройки – уже около 35 м. К оперяющей тектонической структуре приурочена локальная водоносная зона трещинно-жильных подземных вод, в которой можно соорудить инфильтрационный водозабор для защиты подземного паркинга от фильтрации речных вод.

Комплексные инженерные изыскания для строительства делового центра «Башня Исеть» получили положительное заключение ФАУ «Главгосэкспертиза».

#### Библиографический список

1. Скалин А.А. О рациональном использовании привлекаемых ресурсов пресных подземных вод при дренаже паркинга «Екатеринбург –СИТИ»// Известия Уральского горного университета.2012. Вып. 27-28. С. 50-52.
2. Скалин А.В. Гидрогеомеханические исследования интрузивных массивов при обосновании высотного строительства// Геоэкология.2009.№3.С271-278.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **АНАЛИЗ РИСКА АВАРИИ НА ВОЗДУШНОМ ПЕРЕХОДЕ НЕФТЕПРОВОДА**

*Смирнягина Д.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

*Гурьев Е.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

*Полуян Л.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Эксплуатация магистральных нефтепроводов является одним из наиболее опасных факторов, вызывающих нарушение равновесия водных экосистем. Особую опасность представляют участки нефтепроводов, проходящие через водные преграды. Одной из проблем является разработка мероприятий по ликвидации последствий аварийных разливов в руслах водотоков в кратчайшие сроки. Повышение уровня промышленной безопасности за счет применения более эффективных средств локализации и ликвидации аварий на нефтепроводах, проходящих через водные преграды, является одной из важных задач при возрастающих объемах транспортирования нефти.

Статистика аварий на магистральных трубопроводах показывает, что их количество не снижается. Основными причинами аварий являются сокращение ремонтных мощностей, низкие темпы работ по замене отработавших срок трубопроводов на трубопроводы с антикоррозионными покрытиями, а также прогрессирующее старение действующих сетей.

Особенно большую опасность представляют магистральные нефтепроводы в местах перехода через реки, например, на вантовых воздушных переходах. Как показывает практика, полностью исключить аварии, связанные с процессом транспортировки нефти и снизить до нуля вероятность их возникновения, невозможно.

В рассматриваемой работе на примере вантового воздушного перехода магистрального нефтепровода через одну из сибирских рек представлены результаты оценки риска его эксплуатации. Поскольку разливы нефтепродуктов в водотоки рек приносят огромное загрязнение не только водных ресурсов, но и большие финансовые потери, в работе рассмотрели существующие подходы к прогнозированию растекания нефти по воде. Поведение нефтяного загрязнения на водотоках зависит от состава и плотности нефти, скорости течения воды, скорости и направления ветра, температуры окружающего воздуха и воды и др. Трансформация и перенос нефтяного разлива в воде подчиняется набору сложных, взаимосвязанных, физико-химических процессов, которые зависят от свойств нефти, гидродинамических свойств и условий окружающей среды [1].

Определение количества вытекшей нефти из нефтепровода производилось на 3 периодах, характеризующихся разными режимами истечения [2]. Общий объем вытекшей нефти составляет сумму объема вытекшей нефти с момента обнаружения повреждения трубопровода до остановки перекачки ( $V_1$ ), вытекшей нефти из трубопровода с момента остановки перекачки до закрытия задвижек ( $V_2$ ) и вытекшей нефти из трубопровода с момента закрытия задвижек до прекращения утечки ( $V_3$ ):

$$V_{\Sigma} = V_1 + V_2 + V_3,$$

$$V_1 = Q_1 \cdot t_1,$$

$$V_2 = Q_2 \cdot t_2,$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L,$$

где  $Q_1$  – объем прокачки нефти (расход) до обнаружения аварии, м<sup>3</sup>/с;

$Q_2$  – объем прокачки нефти (расход) до полного закрытия задвижек, м<sup>3</sup>/с;

$d$  – внутренний диаметр нефтепровода, м;

$t_i$  – время вытекания нефти в соответствующем периоде, с.

В работах [1, 3] авторы одинаково оценивают объемы вытекшей из трубопровода нефти. Однако, по-разному рассматривают процесс растекания нефти по поверхности водотока. В общем случае, нефтяное пятно на водной поверхности подвержено, с одной стороны, переносу под действием течения водотока, а с другой стороны – множеству процессов трансформации. Трансформация нефти выражается в растекании в результате действия гравитационных, инерционных, вязких сил и сил поверхностного натяжения. Так же происходит: испарение нефти с поверхности разлива и тем интенсивнее, чем выше температура окружающей среды и более легкая по составу сама нефть, эмульсификация – образование эмульсии воды в нефти, – диспергирование – проникновение капель нефти в воду в результате обрушения ветровых волн, – растворение нефти в воде [1]. Следует отметить, что в данной работе при растекании не учитывается влияние погодных-климатических условий, волнение воды, скорость водотока. Скорость водотока реки является основным фактором влияющим на распространение нефти вниз по реке, и это распространение нефти может привести к загрязнению на десятки километров русла, особенно при не широких реках и быстрых водотоках.

Площадь растекания нефти зависит от времени обнаружения аварии, времени реагирования ремонтных бригад, дальности их дислокации от места аварии, оснащенности ремонтной бригады специальным оборудованием и др. В рассматриваемой работе проведен анализ риска аварии на воздушном переходе, рассчитан экологический ущерб, нанесенный окружающей среде, с учетом дислокации аварийной бригады.

Расчеты по растеканию нефти по водотокам необходимы для разработки планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти, расчета сил и средств, необходимых для ликвидации последствий аварий на водных объектах. Все расчетные зоны поражения, загрязнения накладываются на картографическую основу с использованием ГИС – технологий, которые дают возможность связать данные анализа, количественную и качественную оценку ситуации.

Анализ результатов расчетов аварии на вантовом воздушном переходе показывает, что для повышения безопасности при эксплуатации нефтепровода необходимо своевременно осуществлять его систематический контроль, иметь непосредственно на воздушном переходе через реки комплект оборудования для локализации аварии, обеспечить ремонтно - восстановительные работы всего комплекса воздушного перехода, включающего как сам нефтепровод, так и вантовую конструкцию перехода в кратчайшие сроки.

Полученные результаты позволили разработать инженерную методику оценки зон поражения при разливе нефти на водную поверхность. Она может быть использована при разработке планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти для воздушных переходов в части анализа риска.

#### Библиографический список

1. Павлов А. А., Черняев А. В. Моделирование процессов трансформации нефтяных загрязнений при разливах нефтепродуктов на акваторию малых рек. Известия ВолгГТУ том 6, №6, 2009. с.23-27.
2. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах (утв. Минтопэнерго РФ 1 ноября 1995 г.)
3. Нуранбаева Б.М., Мутушов А. Оценка ущерба от разлива нефти при авариях на примере нефтепровода каспийского трубопроводного консорциума (КТК). Вестник КазНТУ №3 (103), 2014, с. 36 – 42.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# УСТОЙЧИВОСТЬ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЗДАНИЙ ПРОТИВ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

*Стефановский Д.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

*Редикульцев Е.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
effect-project@yandex.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**



Обеспечение надежности зданий и сооружений является главной задачей при проектировании, в котором должны учитываться все возможные нагрузки, в том числе и особые, не предусмотренные условиями нормальной эксплуатации.

Вследствие аварийных ситуаций (взрывов бытового газа, наездов автотранспорта, дефектов проектирования, строительства или реконструкции, терактов и т.п.) возможно повреждение несущих конструкций здания и полное или частичное выключение их из работы, а также наступление прогрессирующего обрушения, характеризуемого последовательным разрушением смежных несущих элементов. Защита зданий от прогрессирующего обрушения является неотъемлемой частью обеспечения надежности.

Оценку склонности зданий к прогрессирующему обрушению можно с практической точностью определить кинематическим методом предельного равновесия, который в нормативных документах представлен только в общем виде.

Актуальность развития данного метода заключается в отсутствии его подробных методик в нормативных документах и потребностью проектировщиков в доступных и простых методах расчета.

Основными документами, регламентирующими основные положения по расчету зданий на устойчивость против прогрессирующего обрушения, являются Рекомендации [1-4].

Расчет здания в случае локального разрушения несущих конструкций производится только по предельным состояниям первой группы. Развитие неупругих деформаций, перемещения конструкций и раскрытие в них трещин в рассматриваемой чрезвычайной ситуации не ограничиваются.

Устойчивость зданий против прогрессирующего обрушения следует обеспечивать наиболее экономичными средствами:

- рациональным конструктивно-планировочным решением здания с учетом возможности возникновения рассматриваемой аварийной ситуации;
- конструктивными мерами, обеспечивающими неразрезность конструкций;
- применением материалов и конструктивных решений, обеспечивающих развитие в элементах конструкций и их соединениях пластических деформаций.

Расчет производят на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающее постоянные и длительные временные нагрузки, а также воздействие на конструкцию здания локальных гипотетических разрушений. Локальное разрушение может быть расположено в любом месте здания.

Постоянная и длительная временная нагрузки принимаются с коэффициентами сочетания нагрузок и коэффициентами надежности по нагрузкам, равными единице. Расчетные прочностные и деформационные характеристики материалов принимаются равными их нор-

мативным значениям согласно действующим нормам проектирования с учетом физической нелинейности.

В случае обеспечения пластичной работы конструктивной системы в предельном состоянии проверку устойчивости против прогрессирующего обрушения элементов, расположенных над локальными разрушениями, можно проводить кинематическим методом теории предельного равновесия, дающим наиболее экономичное решение. В этом случае расчет здания при каждой выбранной схеме выполняется по следующей процедуре:

- задаются наиболее вероятные механизмы прогрессирующего (вторичного) обрушения элементов здания, потерявших опору (задать механизм разрушения значит определить все разрушаемые связи, в том числе и образовавшиеся пластические шарниры, и найти возможные обобщенные перемещения по направлению усилий в этих связях);
- для каждого из выбранных механизмов прогрессирующего обрушения определяются предельные усилия, которые могут быть восприняты сечениями всех пластично разрушаемых элементов и связей, в том числе и пластических шарниров; находятся равнодействующие внешних сил, приложенных к отдельным звеньям механизма, то есть к отдельным не разрушаемым элементам или их частям, и перемещения по направлению их действия;
- определяются работы внутренних сил  $W$  и внешних нагрузок  $U$  на возможных перемещениях рассматриваемого механизма, и проверяется условие равновесия:

$$W \geq U.$$

В работе предложен координатный способ определения работ внутренних и внешних сил в перекрытиях.

Пусть начало координат совпадает с центром тяжести разрушенной колонны (пилона), тогда близлежащие колонны (пилоны) приобретают соответствующие координаты.

Общие случаи излома перекрытия для расчета координатным способом представлены на рис. 1.

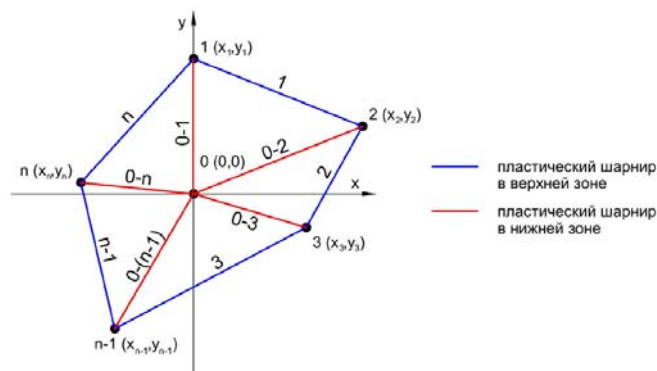


Рис. 1. Схема излома перекрытия при удалении средней колонны:  
0 – разрушенная колонна; 1, 2, 3...n – колонны

По принятым схемам излома определяются работы внутренних и внешних сил в перекрытии с помощью зависимостей метода предельного равновесия.

Работа внутренних сил перекрытия суммируется по всем пластическим шарнирам. Для расчетов необходимо определить изгибающие моменты, воспринимаемые сечением перекрытия вдоль рассматриваемого пластического шарнира и угол излома, который обратно пропорционален радиусу окружности, по которому может произойти поворот перекрытия.

Работа внешних сил на перемещениях перекрытия определяется в зависимости от обрушаемой части перекрытия и ее перемещений.

Созданы и реализованы алгоритмы для компьютерного программирования на языке Pascal для координатного способа. Точность метода и вычисления программ подтверждается проведенным верификационным тестом, а также проверочным расчетом методом конечных элементов 12-этажного здания с регулярной сеткой колонн.

При условии внезапного удаления вертикальных несущих конструкций, характер работы перекрытия кардинально меняется, в связи с чем, очевидным является наличие больших деформаций (прогибов). Исследования показывают, что при больших прогибах, в перекрытиях, наряду с чисто изгибными напряжениями, появляются и так называемые цепные или мембранные напряжения (напряжения растяжения-сжатия), учет которых даст более точное решение.

Расчеты с учетом мембранных напряжений основаны на методе, предложенном А.Р. Ржаницыным [5]. Работа внутренних сил в перекрытии представляется как сумма работ внутренних изгибающих моментов на двугранных углах перелома и дополнительных работ, обусловленных наличием продольных растягивающих (мембранных) напряжений.

В итоге, работу внутренних сил в перекрытии можно найти по следующей зависимости:

$$P = \frac{2}{\sqrt{3}} m f \sum \operatorname{ctg} \alpha_i \left( 1 + \frac{f^2}{h^2} \right),$$

где  $m$  – несущая способность перекрытия относительно пластических шарниров,

$f$  – прогиб,

$\alpha$  – углы, образованные между пластическими шарнирами,

$h$  – толщина перекрытия.

Графики на рис. 2 построены для перекрытия с  $h = 200$  мм. Из них видно, что учет мембранных напряжений уже дает увеличение работы внутренних сил в перекрытии при прогибах в 40–50 мм или 1/5–1/4 толщины перекрытия. Данный результат прекрасно согласуется с исследованиями, изложенными в [6].

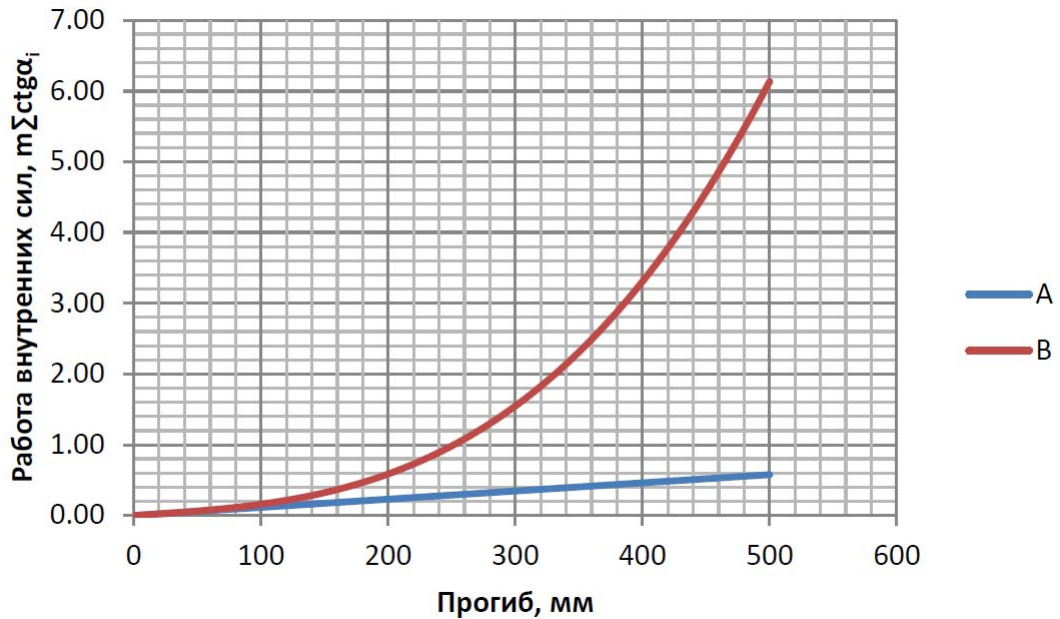


Рис. 2. Зависимость работы внутренних сил от прогибов:  
А – без учета мембранного эффекта; В – с учетом мембранного эффекта

Важной проблемой метода предельного равновесия является оценка деформаций (прогибов) перекрытий каркасов зданий и, соответственно, учета реальных мембранных напряжений в работе внутренних сил. Актуальной задачей является нахождение всех параметров, при которых наступает предельное равновесие конструкций.

#### Библиографический список

1. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях / Правительство Москвы. М.: УПП Москомархитектуры, 2002. – 20 с.
2. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения / Правительство Москвы. М.: УПП Москомархитектуры, М.: 2005. – 59 с.
3. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения / Правительство Москвы. М.: ГУП МНИИТЭП, 2006. – 34 с.
4. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий / Правительство Москвы. М.: УПП Москомархитектуры, 1999. – 55 с.
5. Ржаницын А.Р. Предельное равновесие пластинок и оболочек. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 288 с.
6. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. – 420 с.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **«ЗЕЛЕНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО» КАК ИНСТРУМЕНТ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

*Тиганова И.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
[i.a.tiganova@urfu.ru](mailto:i.a.tiganova@urfu.ru)

*Ведерников А.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

*Рязанова Е.Д.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

На современном этапе для социально-экономической ситуации в мире характерно ускорение глобализации урбанизированных систем, сопровождаемое истощением природных ресурсов, неконтролируемым ростом загрязнения окружающей среды, ухудшением экологических условий среды жизнедеятельности человека. Это, в свою очередь, является первопричиной «парникового эффекта», который оказывает негативное воздействие на атмосферу и биосферу, приводя к изменению климата. Города, занимая 2 % поверхности планеты, потребляют 75 % её природных ресурсов. Поэтому основные аспекты идеологии развития градостроительства в XXI веке связаны с необходимостью создания моделей развития градостроительства, согласующихся с природой и защищающих её для удовлетворения насущных потребностей настоящего и будущего поколений [1].

В настоящее время всё более популярным становится понятие «sustainability» (англ. устойчивое развитие), комплексный экономический и экологический подход к развитию территорий и общества, который охватывает эффективное расходование природных ресурсов, энергосбережение, вторичную переработку отходов, использование замкнутых циклов в производстве и т.д. С градостроительной точки зрения под «устойчивым развитием территорий» подразумевается формирование такой среды обитания, при которой наносится наименьшее влияние на естественное состояние ландшафта, создаются благоприятные условия для жизнедеятельности и комфортный микроклимат населенных мест.

Основные цели устойчивого развития в области водно-теплового баланса ландшафтов раскрываются в понятии «sustainable urban drainage systems» (устойчивые городские водоотводные системы). Это комплексные системы по регулированию поверхностного и грунтового стока, применение которых направлено на эффективное использование и отвод поверхностных и подземных вод, а также на сохранение и поддержание водного баланса территорий, борьбу с «urban heat island-effect» (англ. перегрев городской среды), исключение влияния градостроительной деятельности человека на естественный цикл поверхностного стока.

Отечественный экологический подход относительно влияния урбанизированных ландшафтов на окружающую среду имеет уклон в сторону оценки и предотвращения загрязнения, при проектировании и строительстве техногенные изменения поверхностного стока оцениваются в первую очередь с точки зрения загрязнения грунтовых и поверхностных вод выбросами вредных веществ. Регулирование объёмов поверхностного стока оценивается только с точки зрения пропускной способности системы водоотвода и мощности очистных сооружений.

К альтернативным используемым в западной практике (на примере Германии) системам отвода поверхностного стока, с помощью которых обеспечивается задержание дождевой

воды на территории и поддержание благоприятного водно-теплового баланса, относятся следующие инженерные мероприятия:

- максимальное устройство застраиваемых площадей из покрытий с малым коэффициентом стока – газон, мощение и т. п.;
- устройство зелёных крыш, особенно актуально для плоских кровель больших площадей: промышленных и торговых зданий, также в декоративных целях;
- отвод дождевых вод в специальные задерживающие водопоглощающие системы прудов – каскад мульд, которые представляют собой искусственные понижения поверхности, пруды или траншеи, вписанные в ландшафт, в которых сток задерживается, частично испаряется, инфильтруется и сокращается за счёт транспирации через корни растений;
- отвод дождевого стока с крыш в подземные фильтрующие траншеи, такое решение возможно при соответствующих гидрогеологических условиях;
- отвод поверхностной воды в подземные ёмкости-резервуары с последующим использованием для полива и хозяйственно-бытовых нужд.

В парадигме устойчивого развития европейское градостроительство в последние десятилетия развивается в тенденции уплотнения существующей застройки и ограничения захвата природных ландшафтов, прекращения роста городов. Изменения в законодательстве направлены на экстенсивное, а не интенсивное развития городских территорий. Это обосновывается экологическими (снижение нагрузки на природный ландшафт) и экономическими (обслуживание более компактной территории экономически более выгодно) соображениями.

В Германии застройщик обязан часть прибыли расходовать на общественные нужды, одним из инструментов для этого служит финансирование компенсационных мероприятий, необходимых для снижения вмешательства в природный ландшафт в результате нового строительства. При этом в последние годы законодательно на федеральном уровне предписываются такие высокие затраты на устройство компенсационных мероприятий, что частным инвесторам становится не выгодно заниматься застройкой на сельскохозяйственных полях и свободных находящихся в естественном состоянии территориях, что приводит к сокращению освоения этих нетронутых природных ландшафтов. В результате чего реализуется главная европейская градостроительная политика сегодняшнего времени: ограничение территориального расширения городов, т. е. вектор рентабельности инвестиций, а значит, развития территорий перенаправлен на санирование брошенных и запущенных территорий внутри самого города, где компенсационные мероприятия не требуются, либо сама жилая застройка с сопутствующим озеленением уже оказывает благоприятное влияние на ландшафт по сравнению с исходным угнетённым состоянием. К такими территориями в городах относятся отжившие свой срок жилые районы, промышленные площадки и площадки бывших военных



объектов, неосвоенные пустыри и т. д. Объекты эти, как правило, заселяются асоциальными элементами или находятся в запустении, поэтому их освоение имеет не только экологическое преимущество, но способствует социальному благополучию города. В связи с этим, точечная застройка в современных российских городах, несмотря на обширность территорий страны – это единственный экологически правильный и экономически выгодный путь развития отечественных мегаполисов. Так, например, в г. Екатеринбурге помимо освоения новых территорий для жилого строительства за пределами города, активно ведётся освоение территорий промышленных площадок, после выноса промпредприятий за пределы города [2], что, несомненно, является примером экстенсивного развития города, в отличие от примера интенсивного расширения территории Москвы и образования «Новой Москвы», противоречащее современному западному градостроительному подходу.

Таким образом, антропогенное вмешательство в существующий природный ландшафт при освоении территории, а также благоприятное восстановительное воздействие человека на ландшафт и снижение отрицательного антропогенного воздействия в случае реконструкции или рекультивации территорий должно исследоваться, далее оцениваться масштаб и качество этого влияния, делаться вывод о необходимости разработки компенсационных мероприятий или её отсутствии. Что свидетельствует о том, что «зеленое строительство» помимо создания благоприятных условий для проживания человека, имеет цель защитить нетронутые природные ландшафты и может являться современным эффективным инструментом градостроительного регулирования.

#### Библиографический список

1. Краснощекова Н.С. Формирование природного каркаса в генеральных планах городов: Учебное пособие для вузов. – М. : «Архитектура-С», 2010. – 184 с.: ил.
2. Генеральный план развития городского округа – муниципального образования "город Екатеринбург" на период до 2025 года, утвержденный решением Екатеринбургской городской думы от 06.07.2004 г. № 60/1.



**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИТИЧНЫХ ИНФРАСТРУКТУР**

*Тимашев С.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УРО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
[timashevs@gmail.com](mailto:timashevs@gmail.com)

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Инфраструктуры обычно материализованы в виде систем (сетей), состоящих из взаимодействующих между собой конструкций и сооружений, машин, приборов и аппаратуры, компьютеров и проводных, кабельных и беспроводных коммуникаций, а также компьютерных программ, которые, в совокупности, образуют распределенные на некоторой территории разного рода системы инфраструктур. В самом общем виде различают хард-, софт- и социальные инфраструктуры.

Поскольку отдельная инфраструктура сама по себе уже система, то можно говорить о системе систем. Имеются предложения объединить круг научных задач, относящихся к таким мега - объектам, в состав новой научной дисциплины –инфраномики [1]. Наиболее важные инфраструктуры, создаваемые для обеспечения безопасности и защиты жизни и стабильного развития экономики и общества, называются критическими (КИ), а важнейшие из них, обеспечивающие энергетическую, экономическую безопасность страны и защиту интересов страны на международной арене – стратегическими (СИ). Специфика современных инфраструктур состоит в том, что они являются взаимозависимыми. ИК являются как основным средством создания общественного богатства, жизнеобеспечения, так и основным источником техногенных катастроф.

При их эксплуатации необходимо также учитывать влияние инфраструктур на окружающую среду и население, проживающее на территории, на которой расположены эти системы. Чрезвычайная ситуация, произошедшая на ВКИ, немедленно распространяется как на окружающую среду, так и на население региона. Одновременно, ВКИ являются средством предотвращения ЧС и ликвидации ее последствий. Таким образом, из-за своего врожденного дуализма, СВКИ можно рассматривать как проводник и в то же время как посредник между природной окружающей средой и обществом (проживающим в данном регионе населением).

В связи с изложенным понятно, что проблема оценки и управления региональным риском в принципе сводима к проблеме надежности и безопасности полной системы ВКИ этого региона. Эта рабочая гипотеза положена в основу всех исследований автора.

В научном плане под КИ понимается многокомпонентная распределенная биоготехническая система «социум–человек–критичная инфраструктура–среда [СЧИС]», состоящая из множества взаимозависимых и взаимодействующих материальных объектов, и групп людей, находящихся на конкретной территории в определенный отрезок времени. Такая распределенная система взаимозависимых критичных инфраструктур (ВКИ) должна обеспечивать:

- стабильное функционирование какого-либо потенциально опасного объекта (далее ПОО) или целой отрасли индустрии;

- поддерживать жизнедеятельность населения и устойчивое развитие территории его проживания.

Примерами критичных инфраструктур являются:

- системы добычи/производства, транспорта и распределения нефти и нефтепродуктов, газа, электричества;
- химические производства;
- системы тепло- и водоснабжения,
- железные и автомобильные дороги, аэропорты, внутристрановые и каботажные водные пути сообщения;
- дамбы и плотины;
- телекоммуникационные сети, Интернет и всемирная паутина;
- агропромышленный комплекс, сельскохозяйственное производство и система распределение продуктов питания,
- сети научно-образовательных учреждений и здравоохранения,
- учреждения обеспечения безопасности населения – МВД, МЧС и др.),
- банковские и финансовые учреждения;
- почта и службы доставки;
- коммерческие учреждения, и т.п.

Обеспечение надежной и безотказной работы всех этих ВКИ – задача государственной (отраслевой, региональной, муниципальной) важности [2]. Проблема безопасности таких систем привлекает все большее внимание ученых, производителей, государственных деятелей, особенно после каждой крупной аварии с тяжелыми последствиями – человеческими жертвами, нарушением экологического баланса, потерей собственности или престижа.

Следует отметить, что большие инфраструктурные системы БИС невозможно проектировать и эффективно эксплуатировать, используя только правила, записанные в соответствующих стандартах. Необходимо дополнительно учитывать не только безопасность и функциональность, но и социально-экономический контекст проекта и экономическую эффективность инвестиций в него.

Обеспечение непосредственно безопасности является важной, но не единственной целью общества. Долю ресурсов, которую общество может выделить именно на обеспечение безопасности, необходимо непрерывно уточнять, имея в виду, что у общества имеются и другие нужды, такие как чистый воздух и вода, здоровая пища, жилье, здравоохранение, пенсионное обеспечение, образование и другие социальные услуги, которые тоже увеличивают продолжительность и качество жизни.

В условиях, когда способность общества предотвратить гибель людей конечна и ограничена его способностью создавать общественное богатство, центральной проблемой управления величиной оцененного потенциально-возможного ущерба (риска) становится оптимизация распределения (объема, места и времени приложения) ограниченных ресурсов на нужды безопасности, что эквивалентно уменьшению последствий аварий и катастроф за счет применения оптимального предсказательного мейнтенанса и применения средств защиты от возникающих, в том числе, климатических, угроз. В современном мире управление территорией/регионом и их образованиями – метрополией, городом, муниципалитетом, компанией, предприятием, и т.д., осуществляется выборными или назначенными ответственными лицами, каждое из которых, предположительно, (квази) независимо, принимает решение (ЛПР) в пределах своих компетенций и на своем конкретном уровне. Эта группа ЛПР, в своей совокупности, коллективно, но не жестко организованным образом, *de facto* осуществляет управление (менеджмент) этими образованиями. В англоязычной литературе, при рассмотрении и описании этого способа управления активами региона используется одно слово – *governance*, не имеющего аналога в русском языке. В связи с этим предлагается использовать его прямую реплику – слово *говернанс*, при описании того или иного способа коллективного управления территорией или ее частью [3].

Говернанс относится ко всем процессам государственного и социального управления, осуществляемым региональным правительством (администрацией города, руководителями предприятий), рыночной экономикой, социальными сетями, будь это в семье, племени, народе, формальной или неформальной организации, или территории, через законы, нормы, власть или язык [3]. Говернанс относится к процессам взаимодействия и принятия решений уполномоченными лицами (ЛПР), вовлеченными в решение коллективной проблемы, которые (процессы) ведут к созданию, укреплению, или воспроизводству социальных норм и институтов» [4]. Фактически речь идет о (квази)коллективном управлении территориальным или региональным риском в условиях неопределенностей современного мира.

Из этого общетеоретического определения нам наиболее интересны аспекты, которые связаны с управлением (менеджментом) СВКИ, входящих в состав тех или иных региональных промышленных инфраструктур и социальных сетей, с помощью закрепления/подтверждения или воспроизводства технических и социальных норм, законодательно оформленных и действующих в России.

Практическим выводом из этой концепции является необходимость ориентирования теоретиков и прикладников – специалистов в области риска на решение задач, которые могут возникнуть у ЛПР регионального уровня в ходе повседневного управления функционированием КИ, ВКИ и СВКИ. Необходимо создать для этой категории руководителей практиче-

ские гармонизируемые средства поддержки и принятия решений, связанных с эффективным функционированием территориальных предприятий и учреждений, которые они возглавляют, в контексте обеспечения социальных нужд и параметров жизни отдельных людей и регионального социума в целом, согласно законов, этических и эстетических норм, исторически сложившихся в тех или иных регионах РФ и характерных для России в целом.

Такой, более широкий подход к говернансу, позволяет придти к оптимальным критериям проектирования и политике управления эксплуатацией СВКИ, которые делают этот проект устойчивым к развитию в долгосрочной перспективе.

Здесь необходимо еще раз отметить, что проблема предсказательного управления (менеджмента) территориальных ВКИ с междисциплинарных позиций имеет два аспекта: ее решение нужно как для проектирования КИ, так и для их эффективной эксплуатации, причем как в условиях аварии/ЧС, так и при принятии решений в условиях стабильного развития региона.

Ключевым элементом при рассмотрении комплексного территориального риска является оценка поведения систем взаимозависимых критичных инфраструктур (СВКИ) при действии природных, техногенных, смешанных, и всех типов преднамеренных аварий и катастроф.

От надежности и безопасности существующих и вновь создаваемых СВКИ прямым образом зависит скорость инноваций и освоения новых технологий, будущая продуктивность промышленности и рост регионального РВП и валового ВВП. Наконец, степень развитости инфраструктуры государства и его способность создавать принципиально новые «умные (smart)» инфраструктуры («умные» линии электропередач, с встроенными в них системами диагностики, мониторинга и защиты, «зеленые» здания, получающие всю требуемую энергию от солнца, автодороги, вырабатывающие электроэнергию от движущихся по ним автомобилям и т.п.), определяет его инвестиционную привлекательность и геополитический вес.

Рассмотрим, к примеру, геополитические аспекты транспортных инфраструктур. В России этот аспект рассматривался еще до 1917 года Семеновым Тянь-Шанским который, указывая на стратегическое значение транспортных инфраструктур, предлагал построить железную дорогу в широтном направлении Мурманск–Кавказ–Сирия–Египет–Кейптаун (ЮАР) [5]. В настоящее время Россия ведет (с понятными перерывами) переговоры о создании железнодорожного консорциума между странами СНГ, Балтии, а также Финляндией, Монголией, Польшей, Германией и Францией. Имеется национальный проект развития БАМа в направлении Берингова пролива.

Аналогичный подход к созданию железнодорожной инфраструктуры межконтинентального масштаба предлагает и современный Китай, который хочет возродить Великий шелковый путь, предлагая построить железные дороги по следующим маршрутам: Пекин–Владивосток–побережье Охотского моря–Берингов пролив–Аляска–США (с продлением в дальнейшем дороги до южной оконечности Южной Америки); Пекин–Лондон через Казахстан, Казань и Москву (Россия согласилась принять участие в этом проекте); Пекин–ЮВА через Шанхай, Гонконг, Куала–Лумпур до Сингапура; Пекин–Африканский континент. Он также хочет построить Великий морской путь.

У России имеется свой уникальный межконтинентальный проект морского транспорта--Севморпуть. По законодательству РФ Севморпуть определен как "исторически сложившаяся национальная единая коммуникация России в Арктике", с учетом глобального потепления, которое практически освободило Северный Ледовитый океан для круглогодичного каботажного плавания (зимой - с применением ледоколов) вдоль побережья России, при использовании этого пути длина маршрута Мурманск - Йокогама (Япония) сокращается примерно вдвое. Активно участвуя в строительстве и эксплуатации межконтинентальных наземных и морских транспортных инфраструктур, Российское государство сможет эффективно себя позиционировать в важнейших стратегических регионах мира, принять активное участие в формировании взаимовыгодного процесса научно-технического диалога цивилизаций. Из сказанного ясна важность стратегических инфраструктур любого типа для устойчивого развития и престижа страны.

### **Нерешенные проблемы инфраструктур**

Анализ современных глобальных тенденций развития ВКИ показывает, что они непрерывно совершенствуются, причем этот процесс разнонаправленный (что-то усложняется, а что-то одновременно упрощается) и приобретают все новые функции. В частности, они автоматизируются (но при этом человеческий фактор всегда остается), снабжаются системами защиты, их ремонтпригодность растет (при этом часть элементов этих систем становится одноразового применения).

В целом, следует признать, что теория инфраструктур находится в начальной фазе своего развития. Предстоит решить большое количество принципиально важных задач для возможности уверенного проектирования и эксплуатации инфраструктур. Среди этих проблем первоочередными являются:

- построение моделей технологических и природных нагрузок на элементы, компоненты и сами инфраструктуры как случайных одно- и многомерных процессов (полей) времени и координат, в том числе, с учетом глобального изменения климата;

- разработка методов оценки надежности, вероятности отказа и долговечности многоэлементных систем на сочетания случайных процессов механических нагрузок, физических полей и химических процессов;
- создание основ и методов диагностики и мониторинга конструкционной и функциональной надежности и остаточного ресурса конструкций и систем, в том числе после их апгрейда;
- построение методов оценки величины всех типов ущерба при отказе элемента, компонента и системы в целом с учетом всех связанных с этим неопределенностей;
- разработка принципов и методов предсказательного мейнтенанса конструкций, сооружений и систем;
- создание приемов и методов управления системами по нагрузке, состоянию, математическому оператору систем, в том числе методов оптимальной остановки их эксплуатации;
- развитие теории риска эксплуатации инфраструктур и их компонент в виде потенциально опасных объектов, основанной на региональных параметрах риска;
- выработка методов оптимизации выбора методов и мер снижения вероятности отказа и риска эксплуатации при заданных ограничениях на выделяемые для этого средства;
- разработка практически методов оценки живучести, стратегической готовности ВКИ, регионального индекса качества жизни, региональной энтропии;
- установление корреляционных связей между региональной средней ожидаемой продолжительностью жизни РСОПЖ и постатейными бюджетными расходами региона;
- построение версии технологического говернанса инфраструктур, в котором установлена связь между конструкционной, функциональной надежностью и СОПЖ;
- решение практических задач во всех перечисленных выше областях.

Библиографический список

1. A. Gheorghe et al. Infranomics. Springer-Verlag, 2013
2. Тимашев С.А. Управление техногенным территориальным риском по критерию максимальной общественной пользы // Безопасность критичных инфраструктур и территорий. М.: IV Всеросс. конф. и XIV школы молодых ученых, 2011. с. 65-71.
3. Bevir, Mark. Governance: A very short introduction. Oxford, UK: Oxford University Press.
4. Hufty, Marc. "Investigating Policy Processes: The Governance Analytical Framework (GAF). In: Wiesmann, U., Hurni, H., et al. editors. Research for Sustainable Development: Foundations, Experiences, and Perspectives." Bern: Geographica Bernensia. 2011. pp. 403–424.
5. Ю. Харламова. Современная Россия и межконтинентальные железнодорожные магистрали: миф или реальность? М.: Власть, 2011. №2, с. 47–50.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВНУТРИТРУБНОЙ ДИАГНОСТИКИ В УСЛОВИЯХ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЕФЕКТОВ**

*Тимашев С.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
timashevs@gmail.com

*Бушинская А.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
bushinskaya@gmail.com



Данная работа направлена на решение задачи внутритрубной диагностики глубины дефектов стенки трубопроводов. Обнаружение дефектов труб производится с помощью внутритрубных диагностических снарядов, измерения которых содержат погрешности измерений (ПИ).

Ниже представлена методика [1] оценки дисперсии ошибок измерения и доверительных интервалов для измерений параметров дефектов. Оценка адекватности этой методики производится путем моделирования процесса измерений на ЭВМ с помощью датчика случайных чисел.

Суть предлагаемой методики состоит в том, что производят два независимых измерения абсолютной глубины каждого дефекта и общей толщины стенки трубы. На основе результатов этих парных измерений определяют дисперсии ПИ абсолютной глубины дефектов и общей толщины стенки. Затем на основе полученных оценок определяют более достоверные границы доверительных интервалов относительных глубин дефектов и сравнивают их с задаваемым априорно предельно допустимым уровнем.

Для произвольного  $i$ -го дефекта имеем два измерения

$$\begin{aligned}x_{1i} &= d_{1i} + \varepsilon_{1i}, \\x_{2i} &= d_{2i} + \varepsilon_{2i},\end{aligned}\tag{1}$$

где  $x_{1i}$  и  $x_{2i}$  – результаты первого и второго измерений глубины  $i$ -го дефекта,  $d_i = d_{1i} = d_{2i}$  – истинное значение глубины  $i$ -го дефекта,  $\varepsilon_{1i}$  и  $\varepsilon_{2i}$  – случайные погрешности измерений (ПИ) первого и второго измерений глубины  $i$ -го дефекта, имеющие нулевое математическое ожидание (это означает, что отсутствуют систематические погрешности измерений).

В случае, когда ПИ коррелированы между собой, но независимы от истинных значений измеряемого параметра дефектов, предварительно на локальном участке без дефектов тем же измерительным инструментом производят несколько парных измерений бездефектной толщины стенки. В этом случае имеем модель двух зависимых измерений

$$\begin{aligned}v_1 &= t + \eta_1, \\v_2 &= t + \eta_2,\end{aligned}\tag{2}$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – результаты первого и второго измерений толщины стенки на локальном участке без дефектов,  $t$  – истинное значение толщины стенки (детерминированная величина),  $\eta_1$  и  $\eta_2$  – коррелированные между собой случайные погрешности первого и второго измерений, имеющие нулевое математическое ожидание.

На основе  $m$  пар результатов этих измерений определяют коэффициент парной корреляции  $\rho$  ПИ:

$$\rho = \rho(v_1, v_2) = \rho(\eta_1, \eta_2) = \frac{\text{cov}(v_1, v_2)}{\sigma_{v1}\sigma_{v2}}, \quad (3)$$

где  $\text{cov}(v_1, v_2)$  – ковариация между первыми и вторыми измерениями толщины стенки на локальном участке без дефектов;  $\sigma_{v1}^2$ ,  $\sigma_{v2}^2$  – соответственно дисперсия первых и вторых измерений толщины стенки на локальном участке без дефектов.

Далее производят  $n$  парных измерений  $(x_{1i}, x_{2i}, y_{1i}, y_{2i})$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , глубины дефекта и толщины стенки в непосредственной близости к дефекту.

Для произвольного дефекта имеем модель двух зависимых измерений (1), где  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – случайные ПИ глубины дефекта, имеющие коэффициент парной корреляции  $\rho$ .

В этом случае справедливы следующие соотношения

$$\sigma_{x1}^2 = \sigma_{d0}^2 + \sigma_{\varepsilon1}^2, \quad (4)$$

$$\sigma_{x2}^2 = \sigma_{d0}^2 + \sigma_{\varepsilon2}^2, \quad (5)$$

$$\sigma_{d0}^2 = \text{cov}(x_1, x_2) - \text{cov}(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = \text{cov}(x_1, x_2) - \rho\sigma_{\varepsilon1}\sigma_{\varepsilon2}, \quad (6)$$

Решая систему уравнений (4)–(6) с тремя неизвестными  $\sigma_{d0}^2$ ,  $\sigma_{\varepsilon1}^2$ ,  $\sigma_{\varepsilon2}^2$ , получим, что

$$\sigma_{d0}^2 = \frac{-b_d + \sqrt{D_d}}{2a_d}. \quad (7)$$

Так как дисперсии независимых измерений  $\sigma_{x1}^2$ ,  $\sigma_{x2}^2$  известны, то подставив найденное значение  $\sigma_{d0}^2$  в (4) и (5), найдем дисперсии ПИ  $\sigma_{\varepsilon1}^2$  и  $\sigma_{\varepsilon2}^2$ .

Для уменьшения случайной погрешности усредняем результаты всех пар измерений глубины дефектов. В результате, с учетом зависимости случайных погрешностей  $\varepsilon_{1i}$  и  $\varepsilon_{2i}$ , дисперсия  $\sigma_d^2$  усредненных измерений определяется по формуле

$$\sigma_d^2 = \frac{1}{4}(\sigma_{\varepsilon1}^2 + \sigma_{\varepsilon2}^2 + 2\rho\sigma_{\varepsilon1}\sigma_{\varepsilon2}). \quad (8)$$

Аналогичные рассуждения проводятся для парных измерений толщины стенки трубы в районе дефекта.

Моделирование процесса ВТД. Моделирование измерений производится попарно. СКО ПИ датчиков вычислено на основе предположения, что допуск при измерении глубины дефекта с достоверностью 80 % равен  $\pm 10 \%wt$ . Для простоты принято, что датчики имеют одинаковую точность. Тогда генерация коррелированных СВ с заданным коэффициентом корреляции  $\rho$  производится следующим образом. ПИ первого датчика  $\varepsilon_1$  генерируется по

нормальному закону с математическим ожиданием, равным нулю и СКО  $\sigma_{\varepsilon_1}$ . ПИ второго датчика  $\varepsilon_2$  связана с ПИ  $\varepsilon_1$  формулой:

$$\varepsilon_2 = \rho \varepsilon_1 + \sqrt{1 - \rho^2} \xi, \quad (9)$$

где величина  $\xi$  генерируется по нормальному закону с математическим ожиданием, равным нулю и СКО  $\sigma_{\varepsilon_2} = \sigma_{\varepsilon_1}$ .

Проведем  $N = 1000$  экспериментов оценки коэффициента корреляции  $\rho$  на основе выборки 30 измерений бездефектной толщины стенки трубы в зависимости от разных значений  $\rho = 0,1; 0,2; 0,3; \dots; 0,9$ . Для полученных оценок коэффициентов корреляции найдем их выборочные статистические характеристики (среднее и СКО). Полученные результаты представлены на рис. 1, 2.

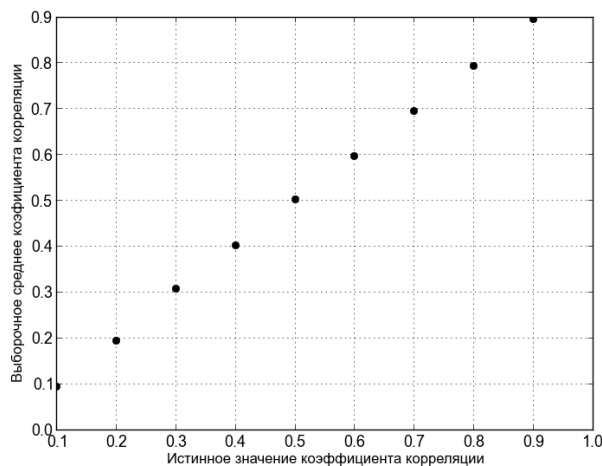


Рис. 1. Выборочное среднее оценок коэффициентов корреляции

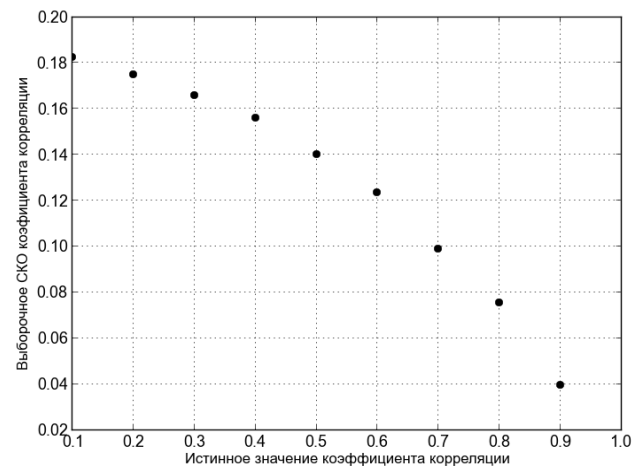


Рис. 2. Выборочное СКО оценок коэффициентов корреляции

Из рис. 1 видно, что оценки практически совпадают с их истинными значениями. Согласно рис. 2, СКО оценок линейно уменьшается с ростом истинного значения коэффициента корреляции. Практически такие же результаты получаются и при гораздо меньшем числе экспериментов ( $N = 30$ ).

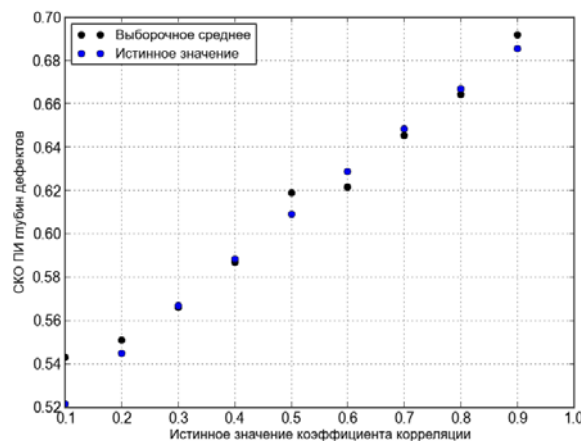


Рис. 3. Выборочное среднее оценок и истинных значений СКО ПИ глубин дефектов в зависимости от коэффициента вариации

На основе оценок коэффициента корреляции произведена оценка дисперсий ПИ усредненных глубин дефектов. Результаты расчета представлены на рис. 3.

Согласно полученным результатам все оценки в среднем совпадают с их истинными значениями. Таким образом, разработанная методика [1] является адекватной и позволяет повышать надежность внутритрубной диагностики за счет увеличения точности измерения глубин дефектов.

#### Библиографический список

1. Патент на изобретение №2444675. Способ внутритрубной диагностики глубины дефектов стенки трубы / Тимашев С.А., Тырсин А.Н. Патентообладатель: ЗАО «ВЕКТ», НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН. Зарегистрирован в госреестре изобретений РФ 10.03.2012 г. Срок действия до 30.11.2029 г.

**Международная конференция**  
**«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ ПРИ АВАРИИ НА КОКСОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

*Титушкин В.А.*

Акционерное общество Восточный научно - исследовательский  
углехимический институт, г. Екатеринбург, Россия

*Гурьев Е.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

*Полуян Л.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

Требования промышленной безопасности при эксплуатации химически опасных производственных объектов (ХОПО) устанавливаются Федеральными нормами и правилами [1, 2]. Применение их к продуктам, многие из которых являются смесями, состоящими из двух и более основных компонентов, и примесей, обладающих более сильной токсичностью, чем основные компоненты, имеет ряд особенностей.

На коксохимических предприятиях используются, хранятся, транспортируются химически опасные вещества, некоторые из которых являются одновременно взрывопожароопасными. К ним относятся сырой бензол и головная фракция (2 класс опасности), выделенная из него; бензол товарный; технические продукты, получаемые на основе каменноугольной смолы.

Токсическую характеристику многокомпонентных смесей опасных химических веществ (ОХВ) трудно определить и невозможно проверить. Кроме того, класс опасности компонентов смеси различается по направленности химического воздействия (токсичность при вдыхании, поражение кожи, канцерогенность, воздействие на функцию воспроизводства и др.) и по воздействию на организмы водной среды, водную среду и почву. Токсичность компонентов при их сочетании в смеси может усиливаться, например, сероуглерода в присутствии сероводорода, сероводорода в присутствии парафиновых низших углеводородов состава C1 – C5 [3].

Для анализа безопасности и оценки риска эксплуатации ХОПО важно иметь представление о масштабах возможных аварий с тем, чтобы для реальных аварий предусмотреть мероприятия по их предупреждению или смягчению последствий.

Использование ПДК не в полной мере отражает опасность токсического поражения, т.к. они служат критериями продолжительного (хронического) воздействия химических факторов на организм человека. При аварии на ХОПО длительность воздействия токсичных продуктов ограничена временем выхода персонала из зоны поражения, существованием первичного облака (30 мин.), вторичного облака (4 ч). Характер влияния вредных веществ на организм при их долговременном воздействии существенно отличается по последствиям от случая их разового (залпового) поступления. При постоянном поступлении малых доз (не превышающих ПДК) они способны или выводиться из организма или нейтрализоваться, вследствие чего не возникают отклонений в состоянии здоровья и в отдалённые сроки [4].

В аварийных ситуациях при залповом выбросе химических веществ возможно поступление в организм значительного их количества. Часть их остается в организме, воздействуя на органы человека, в результате чего повышается вероятность токсического поражения.

По мнению [5, 6] в настоящее время не существует четких критериев для анализа безопасности и оценки риска эксплуатации таких ОПО в случае разового (аварийного) воз-

действия токсикантов. Предлагается для оценки риска гибели и выживания людей при возможных авариях на ОПО использовать пробит-функции, характеризующие зависимость «доза – эффект», и связывающие вероятность гибели человека с уровнем разового поступления опасного вещества в организм. Пробит-функции определены для многих индивидуальных веществ, широко используемых в промышленности: хлор, аммиак, хлористый и цианистый водород, диоксиды серы и азота и др. [5].

Однако для ОХВ, обращающихся на коксохимических предприятиях (КХП) и являющихся, как правило, смесевыми композициями меняющегося состава, пробит-функции не определены. Не установлены для них и значения токсодоз. Кроме того, некоторые из них не оказывают острого токсического воздействия ингаляционным путем при температурах их хранения (20–80°C). Определение величин критериев опасности смесевой химической продукции предусматривается проводить интерполяцией значений для отдельных компонентов, составляющих смесь [7, 8].

При аварийных залповых выбросах, сопровождающихся утечкой сырого бензола, наиболее опасным является попадание в организм ингаляционным путем легколетучих компонентов, содержащихся в парогазовом облаке. В этом случае возможно достижение за короткий период времени (особенно в помещениях) DL50 для человека, не оснащенного средствами защиты органов дыхания. Токсикологическая характеристика фракций сырого бензола (кроме головной) определяется физико-химическими свойствами индивидуальных ароматических углеводородов, преобладающих во фракции, в соответствии со стандартом [7, 8]. В продуктах горения сырого бензола наиболее опасными являются оксид углерода, сажа, формальдегид, содержание которых над зеркалом пролива может превышать ПДК в 20 – 100 раз. Расчет выполнен по методике оценки выбросов вредных веществ в атмосферу при свободном горении по аналогии с бензином [9].

Использование каменноугольной смолы для производства технических продуктов требует оценки ее токсической опасности. Смола является смесью полициклических углеводородов. Ее токсическая опасность определяется температурой хранения или процесса переработки, составом смолы или фракций, свойствами индивидуальных компонентов, видом воздействия и временем контакта с организмом. Технологическая температура хранения смолы и ее фракций – до 80°C, процесса дистилляции – до 400°C. При температуре хранения в парах концентрируются: аммиак до 25 г/м<sup>3</sup>, сероводород до 10 г/м<sup>3</sup>, бензол и его гомологи до 30 г/м<sup>3</sup>, нафталин до 20 г/м<sup>3</sup>, фенолы, пиридиновые основания до 1 г/м<sup>3</sup>, прочие конденсированные ароматические углеводороды в сумме менее 1 г/м<sup>3</sup>, вода до 300 г/м<sup>3</sup>.

Парогазовое, аэрозольное облако, образовавшееся при разгерметизации емкостей со смолой, воздействует ингаляционным путем на верхние дыхательные пути, вызывая их раз-

дражение, слезотечение и боли в глазах, приступы кашля, попадая на незащищённые участки тела, вызывает их термические и химические ожоги. Учитывая болевые ощущения, получаемые от воздействия горячей парогазовой смеси ингаляцией, время пребывания человека в облаке будет невелико и пороговая токсодоза им не будет получена. В этом случае наибольшую опасность имеет воздействие парогазовой и жидкой частей на незащищенные участки тела. В результате чего возможно, кроме химических и термических ожогов, проникновение ОХВ, в т.ч. бензапирена, в организм через кожу.

При разгерметизации системы трубопроводов и технологического оборудования, задействованных в циклах обезвоживания и дистилляции смолы, образуются нагретые пароаэрозольное облако ароматических углеводородов и пролив смолы. Велика вероятность воспламенения выброса каменноугольной смолы. При ее свободном горении в атмосферу выделяются продукты, наиболее опасные из которых (не ниже 2-го класса опасности): цианистый водород, формальдегид, сероводород, бензапирен. В работе определено содержание ОХВ в продуктах свободного горения пролива смолы.

При возникновении аварийных ситуаций, связанных с фракциями и сопровождающиеся образованием пролива, выбросом пароземulsionной смеси или возгорания, способы проникновения и виды воздействия существенно не отличаются от случаев аварий с каменноугольной смолой. Корректная оценка средних смертельных и пороговых токсодоз при воздействии на организм при авариях дает возможность получения реальных зон поражения и оценки риска на химически опасных объектах [10].

Полученные результаты позволили разработать методику, уточняющую зоны поражения при залповых выбросах смесевых коксохимических продуктов, которая может быть использована при проведении анализа риска в части определения масштабов последствий аварий, разработке деклараций промышленной безопасности, проектной документации на строительство, проведении экспертизы проектной документации.

#### Библиографический список

1. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 31.12.2014) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». Серия 09. Выпуск 37. — 2-е изд., доп. — М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. — 126 с.
3. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей/ Под общей редакцией Н.В. Лазарева. - Т.3. - Л.: Химия, 1977. - 608 с.
4. Методические указания № 2000/218. Прогнозирование медико-санитарных последствий химических аварий и определение потребности в силах и средствах для их ликвидации/ Министерство здравоохранения Российской Федерации. Всероссийский центр катастроф «Защита» /. Утв. Зам. мин. здравоохранения РФ. 09.02.2001 г.



5. Петрин С. В., Петрина Л. С. Критерии безопасности при работе с кислотами на опасных производственных объектах// Безопасность труда в промышленности. - 2011. - №6. - с.33 – 38.
6. Петрин С. В., Петрина Л. С. О выборе критериев в качестве целей при анализе безопасности опасных производственных объектов// Безопасность труда в промышленности. - 2013, - № 3. – с.66 - 68.
7. ГОСТ 32419 – 2013. Классификация опасности химической продукции. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2014.
8. ГОСТ 32423 – 2013. Классификация опасности смесевой химической продукции по воздействию на организм. – М.: Стандартиформ, 2014.
9. РД 03 – 496 – 02. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. – Сер. 03. – Вып. 19. – М.: НТЦ ПБ, 2002.
10. Программный комплекс «Токсириск, версия 4.3».

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МАССИВ ИЗ БЕТОННЫХ АРМИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОСНОВАНИИ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ**

*Толстель В.О.*

ФБГОУ ВПО «Уральский государственный университет путей  
сообщения», г. Екатеринбург, Россия  
Vyachec@mail.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Разнообразие слабых грунтов и типов слагаемых ими оснований требует применения и разнообразных методов улучшения структуры оснований в смысле повышения их однородности и равнопрочности, а также их усиления в смысле повышения пределов прочности и снижения деформативности слагающих основание грунтов. Вообще принцип улучшения оснований или отдельных их частей, например поверхностным и глубинным уплотнением или химическим и цементным закреплением практикуется достаточно давно[2]. Однако сам термин «геотехнический массив», а также общая формулировка технического содержания этого искусственного образования, по-видимому, впервые были предложены в 70-х годах XX века уральским ученым-геотехником Б.Н.Мельниковым [3]. В настоящее время понятие «геотехнический массив», как комплекс мероприятий по улучшению и выравниванию механических свойств основания для обеспечения эффективной совместной с ним работы геотехнической части (в частности, фундамента) сооружения, а также различные схемы и методики создания геотехногенных структур в основании нашли широкое применение в строительстве. Одним из эффективных в смысле простоты и надежности, способов улучшения свойств оснований, прежде всего высотных зданий, является способ устройства, геотехнического массива с применением бетонных или железобетонных армирующих элементов (фактически крупноразмерных жестких включений). Способ позволяет на 20–40 % сократить материалоемкость и трудоемкость при устройстве «нулевых циклов» зданий и сооружений, а также существенно сократить сроки строительства. В результате описанный способ нашел уже довольно широкое применение в нашей стране, о чем свидетельствует перечень некоторых объектов, на которых он был применен в Москве, Перми, Самаре и Уфе[4].

Во всех этих случаях слабым инженерно-геологическим элементом основания были достаточно мощные, до (20...30) м слои пылевато-глинистых грунтов (суглинки и глины) во всем диапазоне их пластичности - от текучепластичной до полутвердой консистенции. Эти слои в одних случаях выветрелыми скальными и полускальными, а в других случаях крупнообломочными (дресвяно-гравелистыми и щебенисто-глыбовыми), не очень прочными грунтами. Эти подстилающие грунты, вообще-то, являются хорошим основанием как забивных, так и буронабивных свай. Проблема, однако, заключалась в том, что при большом расчетном весе перечисленных выше сооружений требовалось большое количество забивных или большемерных буронабивных свай большой длины. Это требовало очень больших затрат, а в случае буронабивных свай к этому добавлялась еще и сложность контроля качества выполнения свай, а также сложность и высокая стоимость проведения их испытаний. Как показывал технико-экономический анализ, в этих случаях весьма конкурентоспособным оказался описанный выше способ устройства геотехнического массива, при котором вместо слабого мелкодисперсного пылевато-глинистого грунта в основании создавался крупнооб-

ломочный валунно-глыбовый грунт с большим содержанием пылевато-глинистого заполнителя. При этом крупнообломочные элементы способствовали перераспределению напряжений в основании. При этом важно было создать относительно равномерное распределение армирующих элементов в армируемом слое, с тем, чтобы обеспечить примерно равномерную сжимаемость основания.

В городе Екатеринбурге выгодные для такого способа устройства основания оказались грунтовые условия на улице Вилонова, в районе левого притока реки Исеть – малой реки Основинки. В этом месте морфологически-гидрологическая система обусловила достаточно характерное для Среднего Урала залегание грунтов по элювиальной коре выветривания мезозойского, а иногда и четвертичного возраста, залегают склоновые отложения (делювий и пролювий), в толще которых расположены слабые аллювиальные или озерно-болотные грунты. Именно эти грунты придают основаниям крупных, сложных в плане и, как правило, тяжелых сооружений неустойчивость и неоднородную сжимаемость [6].

Эквивалентный модуль деформации армированного основания определяется по формуле (1) и зависит от частоты размещения армирующих элементов, их деформативности и деформативности окружающего грунта:

Приведенный модуль деформаций искусственного основания («геомассива») в таком случае определяется по «методу смеси» на основе теории композитных материалов. При этом в качестве матрицы рассматривается естественный грунт с его природными характеристиками. Расчет приведенного модуля деформации выполняется по формуле:

$$E_{гр}^{экв} = \left[ \frac{E_{гр}(A_{гр} - \sum A_{арм}) + E_{арм} \sum A_{арм}}{A_{гр}} \right] \quad (1)$$

где  $E_{гр}$  – модуль деформации армируемого грунта;

$E_{арм}$  – модуль деформации армирующего элемента;

$A_{гр}$  – площадь армируемого грунта;

$A_{арм}$  – площадь армирующих элементов;

На данном месте при проектировании административно-парковочного комплекса размещение свай подбиралось таким образом, чтобы значение эквивалентного модуля на всех участках основания многоэтажного здания в плане составляло около 20,0 МПа, что примерно соответствует модулю деформации элювиальных дресвянистых и сапролитных грунтов.

Буронабивные бетонные сваи (свайные армирующие элементы – СВЭ) диаметром 600 мм не являются несущими, а только армируют аллювиальные грунты для повышения их жесткости. Поэтому для лучшего сцепления бетона с грунтом на большей части своей длины

они выполнены без арматуры и с неровными боковыми поверхностями, что естественно упростило технологию и контроль их возведения.

Модуль деформации армирующего элемента по данным испытаний образцов грунтобетона составил 1550 МПа. При этом среднее значение коэффициента постели  $C_z$  по расчетам на различных участках площадки после армирования составило в среднем  $4500 \text{ кН/м}^3$  против примерно  $3000 \text{ кН/м}^3$  – до армирования. Общее количество армирующих бетонных элементов диаметром 600 мм на площадке составило 220 шт. при средней длине элементов 4,0–4,5 м. Поверх армирующих элементов расположен еще один необходимый элемент геомассива – щебеночная подушка толщиной 600 мм, которая способствует выравниванию давления по подошве фундаментной плиты и обеспечению средней осадки плиты на различных участках в пределах 5...6 см.

Таблица 1

Фрагмент таблицы с расчетными значениями коэффициентов постели геомассива

Зона скважины	Коэффициент постели		Расчетная осадка, см		Несущая способность армирующей сваи по СП 50-102-2003
	до арм.	после арм.	до арм.	после арм.	
1а	3900	5000	5,1	4,0	303 кН (30,3 тс)
2а	3200	4800	6,3	4,2	303 кН (30,3 тс)
3а	5400	6700	3,7	3,0	303 кН (30,3 тс)
1	2500	3300	8,0	6,1	405 кН (40,5 тс)
2	2850	4080	7,0	4,9	610 кН (61,0 тс)
3	3000	4650	6,7	4,3	390 кН (39,0 тс)
4	2780	4300	7,2	4,7	450 кН (45,0 тс)
5	2500	4000	8,0	5,0	450 кН (45,0 тс)

При общей внешней простоте описанного выше технического решения, оно потребовало тщательных расчетов с применением, в том числе, современных нелинейных грунтовых моделей.

#### Библиографический список

1. Белянкин Г.И., Лушников В.В. Не украсят ли Екатеринбург Пизанские башни? // Десятые Уральские академические чтения. – Екатеринбург: Российская академия архитектуры и строительных наук (Уральское региональное отделение), 2005. – С. 143 – 147.
2. Горбунов-Посадов М.И., Ильичев В.А., Крутов В.И. и др.; под общ. Ред. Сорочана Е.А. и Трофименкова Ю.Г., Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
3. Мельников Б.Н., Нестеров А.И., Осипов В.И. Геотехногенные массивы как новый вид оснований инженерных сооружений. // Инженерная геология. 1985, № 2. С. 11-21.
4. Геомассив – НЬЮ ГРАУНДИО URL: <http://www.new-ground.ru/index.html?id=4&eid=13>

5. Алехин А.Н., Алехин А.А. Определение параметров нелинейной модели грунта по данным полевых испытаний / Геотехнические проблемы мегаполисов: Труды Международной конференции по геотехнике. – М., 2010 – С. 1201–1208
6. Алёхин А. Н. Алёхин А. А. Особенности устройства искусственной геотехнической структуры в слое слабого грунта основания многоэтажного здания в Екатеринбурге. Вестн. ПНИПУ. Строительство и архитектура. – Пермь:2014. - №3. – С. 41-51.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# ТЕПЛОЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ – ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОДХОД

*Толстова Ю.И.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ytolstova@mail.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Одним из направлений энергосбережения является теплозащита зданий и сооружений.

Уровень теплозащиты зданий определяет величину тепловых потерь через наружные ограждения и расход теплоты на отопление и теплоснабжение. В связи с этим в большинстве стран установлены нормы теплозащиты для наружных ограждающих конструкций зданий различного назначения. Количественной характеристикой теплозащиты является сопротивление теплопередаче. Расчёт и выбор значений сопротивлений теплопередаче может производиться по санитарно-гигиеническим, экономическим требованиям или по условиям энергосбережения. Начиная с 2000 года, основным показателем установлено сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения.

Сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения  $R_0^{\text{эп}}$  принимается по СП 50.13330.2012. Теплозащита зданий в зависимости от назначения зданий, вида ограждающей конструкции и показателя суровости климата – величины градусосуток отопительного периода  $B$ :

$$B = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) Z_{\text{оп}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{в}}$  – температура внутреннего воздуха в помещении, °C;  $t_{\text{от}}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °C;  $Z_{\text{оп}}$  – продолжительность отопительного периода, сут.

Анализ технических решений и оценка экономических тенденций развития энергетики, выполненный В.Г. Гагариным [1], показал, что дальнейшее повышение уровня теплозащиты зданий не является экономически целесообразным как по инвестиционной привлекательности, так и по эффективности капитальных вложений.

В работах [2, 3] отмечается, что для выбора энергоэффективных решений необходимо учитывать экономические показатели (эксплуатационные расходы, окупаемость), а также энергетический баланс инженерных систем. Анализ целесообразности увеличения толщины утепляющего слоя рассмотрен в работе [4].

В инженерной практике принято оценивать основные решения по экономическим условиям: оптимальному варианту должны соответствовать минимальные затраты финансовых средств. Рассмотрим этот подход применительно к задаче проектирования теплозащиты зданий.

Годовые затраты на поддержание заданных параметров воздушной среды в отапливаемых помещениях (приведенные затраты) складываются из капитальных затрат на устройство теплозащиты наружных ограждающих конструкций и систем отопления и эксплуатационных затрат (затрат на компенсацию теряемого тепла):



$$\Pi = E \cdot K + \Xi, \quad (2)$$

где  $\Pi$  – приведенные затраты на теплозащиту, руб./год;  $E$  – коэффициент эффективности капитальных вложений или процентная ставка кредита, 1/год;  $K$  – капитальные затраты, руб.;  $\Xi$  – эксплуатационные затраты на компенсацию теряемого тепла, руб./год.

При увеличении общего сопротивления теплопередаче затраты на устройство теплозащиты наружных ограждений увеличиваются, а затраты на отопление уменьшаются. Сумма этих затрат имеет следующую тенденцию: при увеличении сопротивления теплопередаче суммарные затраты снижаются, а затем увеличиваются. График изменения суммарных затрат имеет минимум, которому соответствует оптимальное значение сопротивления теплопередаче из экономических условий  $R_0^{\text{эк}}$ . Решение задачи можно получить графическим путём, задавая разные значения общего сопротивления теплопередаче наружного ограждения  $R_0$  и определяя величину затрат  $K$ ,  $\Xi$  и  $\Pi$ .

Академиком В.Н. Богословским [5] было получено аналитическое решение задачи оптимизации теплозащиты с использованием математического подхода из условия, что производная функции  $\Pi = f(R_0)$  в точке минимума равна нулю. Дифференцирование уравнения (2) при определённых приближениях позволило получить формулу, представляющую зависимость сопротивления теплопередаче от основных параметров – стоимости тепловой энергии  $c_T$ , стоимости  $c_{\text{ут}}$  и коэффициента теплопроводности утеплителя  $\lambda_{\text{ут}}$ , а также продолжительности и средней температуры отопительного периода:

$$R_0^{\text{эк}} = \sqrt{n \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) Z_{\text{оп}} c_T}{\lambda_{\text{ут}} c_{\text{ут}} E}}, \quad (3)$$

где  $Z_{\text{оп}}$  – продолжительность отопительного периода, с;  $c_T$  – стоимость единицы тепла, руб./Дж;  $\lambda_{\text{ут}}$  – коэффициент теплопроводности материала утепляющего слоя, Вт/(м·°C);  $c_{\text{ут}}$  – стоимость утеплителя, руб./м<sup>3</sup>;  $n$  – коэффициент, учитывающий отношение термического сопротивления утеплителя к общему сопротивлению теплопередаче.

Авторами был выполнен анализ основных параметров, входящих в формулу (3). Использовались данные о тарифах региональных энергетических компаний и прайс-листы фирм – производителей теплоизоляционных материалов. Было установлено, что стоимость тепловой энергии значительно различается по регионам России и имеет устойчивую тенденцию роста. В то же время стоимость современных типов утеплителей имеет значения в интервале  $c_{\text{ут}} = 2300\text{--}3300$  руб./м<sup>3</sup>. Коэффициенты теплопроводности составляют  $\lambda_{\text{ут}} = 0,034\text{--}0,044$  Вт/(м·°C), а различие по регионам России несущественно.

В работе [6] представлены значения сопротивлений теплопередаче  $R_0^{\text{эк}}$  наружных стен и покрытий жилых зданий, рассчитанные по экономическим условиям по формуле (3) для основных регионов России. Также приведены значения сопротивлений теплопередаче по условиям энергосбережения  $R_0^{\text{эн}}$ , принятые по СП в зависимости от показателя  $B$ . Установлено, что зависимость сопротивлений теплопередаче  $R_0^{\text{эк}}$  и  $R_0^{\text{эн}}$  от показателя суровости климата  $B$  практически одинакова.

Данные расчётов в настоящее время значения экономически целесообразного сопротивления теплопередаче наружных стен  $R_0^{\text{эк}}$  для большинства регионов России близки к рекомендуемым СНИП сопротивлениям теплопередаче по условиям энергосбережения  $R_0^{\text{эн}}$ . Однако для покрытий зданий значения сопротивлений теплопередаче  $R_0^{\text{эн}}$  значительно превышают экономически целесообразные  $R_0^{\text{эк}}$ .

Определение нормативного значения сопротивления теплопередаче расчётом позволяет определять уровень теплозащиты зданий с учётом региональных условий и формирования цен на тепловую энергию и теплоизоляционные материалы. При этом основными показателями нормирования являются стоимость тепловой энергии и теплоизоляционных материалов, а также климатологические данные района строительства.

В системах теплоснабжения одним из приоритетных направлений энергосбережения является снижение тепловых потерь при транспортировке энергоносителей. Для реализации этой задачи были переработаны, дополнены и утверждены Строительные нормы и Свод правил СП 61.13330. 2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.

В соответствии с указаниями действующего нормативного документа расчет тепловой изоляции трубопроводов при подземной канальной прокладке должен производиться по суммарной нормативной линейной плотности теплового потока  $q_l$ . Значения  $q_l$  принимаются по таблицам в зависимости от способа прокладки, диаметра трубопровода и среднегодовой температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах. Следует отметить, что приводимые в СП нормативы и значения среднегодовых температур теплоносителя не учитывают климатических особенностей района строительства и являются весьма ориентировочными.

Наиболее обоснованные результаты может дать методика выбора оптимального варианта тепловой изоляции трубопроводов по экономическим условиям, изложенная в учебнике А.А. Ионина и др. [8]. При этом оптимальному варианту должны соответствовать минимальные затраты финансовых средств.

Известно, что тепловая изоляция трубопроводов предназначена для снижения потерь тепла при транспорте теплоносителя. При увеличении толщины теплоизоляционного слоя затраты на материалы и устройство тепловой изоляции увеличиваются, а затраты на компенсацию теряемого тепла уменьшаются. Сумма этих затрат имеет следующую тенденцию: при увеличении толщины теплоизоляционного слоя суммарные затраты снижаются, а затем увеличиваются. Оптимальными будут такие толщины слоёв изоляции подающего и обратного трубопроводов, при которых сумма затрат в уравнении (2) будет минимальной.

Решение задачи можно получить, задавая разные значения толщин тепловой изоляции подающего и обратного трубопроводов и определяя величину затрат К, Э и П. Стоимость тепловой энергии зависит от тарифов, ежегодно устанавливаемых региональными энергетическими компаниями. Что касается стоимости и теплозащитных свойств современных типов тепловой изоляции трубопроводов, то эти показатели зависят от вида материала и определяются производителями.

### **Выводы**

1. Уровень теплозащиты зданий следует определять исходя из экономических условий, которые являются более комплексным и обоснованным показателем затрат на поддержание заданных параметров воздушной среды отапливаемых зданий различного назначения.

2. Рекомендации СП 61.13330. 2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов могут быть использованы для приближённых оценок и выбора вариантов конструкций тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей.

3. При детальном проектировании необходимо учитывать климатические факторы района строительства и региональные тарифы на тепловую энергию. Наиболее обоснованные результаты даёт методика выбора оптимального варианта уровня теплозащиты и тепловой изоляции трубопроводов по экономическим условиям.

### **Библиографический список**

1. Гагарин В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2010. №3. С. 8 - 16.
2. Кривошеин А.Д., Фёдоров С.В. К вопросу о расчёте приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций //Инженерно-строительный журнал. 2010. №8. С. 21 – 27.
3. Прохоров В.И. Эксплуатационные затраты энергии, энергетический баланс инженерных систем здания и окупаемость новых энергосберегающих решений // Теоретические основы теплогаснабжения и вентиляции. Третья Международная научно-техническая конференция: сборник докладов. М.: МГСУ, 2009. С. 30 – 32.
4. Гринфельд Г.И. Диалектика нормативных требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций // Жилищное строительство. 2012. № 1. С. 22 - 24.

5. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) / В.Н. Богословский. Санкт - Петербург: изд. АВОК Северо - Запад, 2006. 400 с.
6. Толстова Ю.И., Михалап М.А., Комкова М.Г. Оптимизация теплозащиты зданий // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции. Пятая Международная научно-техническая конференция: сборник докладов. М.: МГСУ, 2013. С. 78 – 83.
7. Ионин А.А. Теплоснабжение / А.А. Ионин, Б. М. Хлыбов, В.Н. Братенков и др. - М.: Стройиздат, 1982. 336с. Репринт. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 336с.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **О МОДЕЛИРОВАНИИ РИСКА В СИСТЕМАХ КРИТИЧНЫХ ИНФРАСТРУКТУР**

*Тырсин А.Н.*

ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
at2001@yandex.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

В последние годы резко возросли масштабы и частота природных катаклизмов, техногенных катастроф и террористических актов. Наиболее серьезные последствия возникают при выходе из строя систем критичных инфраструктур. Системы критичных инфраструктур предоставляют услуги, чрезвычайно важные для экономики и благосостояния нации и граждан. Устранение или снижение вероятности угроз, как человеческих, так и техногенных, непредвиденных или намеренных, является ключевым вопросом в управлении критичными инфраструктурами [1,2].

Исследование безопасности сложных систем опирается на теорию риска. В широком смысле, под риском понимают возможная опасность какого-либо неблагоприятного исхода. Обычно моделирование риска сводится к выделению опасных исходов, количественному заданию последствий от их наступления и оцениванию вероятностей этих исходов [3]. Для относительно простых объектов, когда можно априори указать все опасные исходы при наличии статистической информации или экспертных оценок о шансах их появления в целом данный подход дает приемлемые на практике результаты. Однако для многих сложных систем, например в экономике, обществе, здравоохранении, строительстве и др., выделить все эти опасные исходы не представляется возможным.

Системы инфраструктуры и организации, управляющие ими, являются компонентами сложной взаимосвязанной системы и в предоставлении ключевых услуг зависят друг от друга. Отметим, что корреляция критических инфраструктур при расчете риска обычно не учитывается. Рассмотрим один возможный подход к моделированию риска в таких системах.

Имеем некоторую многомерную стохастическую систему критичных инфраструктур  $S$ . Будем считать адекватным представление этой системы в виде непрерывного случайного вектора. Каждой инфраструктуре соответствует одна или несколько компонент случайного вектора. Взаимосвязанность критичных инфраструктур учтем с помощью коррелированности компонент случайного вектора. Поскольку вначале имеем в общем случае слишком большую размерность системы (число анализируемых показателей), то необходимо ее сократить. Это можно выполнить, например, с помощью факторного анализа и других методов многомерного статистического анализа. В результате имеем модель системы  $S$  в виде случайного вектора  $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_m)$  с плотностью вероятности  $f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x})$ .

Опасными ситуациями будем считать большие и маловероятные отклонения выборочных значений  $x_{ij}$  любой из компонент  $X_j$  относительно математических ожиданий  $\mu_j = M[X_j]$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ . Вероятность неблагоприятного исхода для каждой из компонент  $X_j$  зададим как  $P(D_j) = P(X_j \in D_j)$ ,  $D_j = \{x : |x - \mu_j| > A_j \sigma_j\}$ , где  $\sigma_j$  – среднее квадратическое

отклонение случайной величины  $X_j$ ,  $A_j$  – заданный пороговый уровень. Тогда для случайного вектора  $X$  вероятность неблагоприятного исхода будет равна

$$P(D) = P(X \in D), D = \left\{ \mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m) : \sum_{j=1}^m \frac{(x_j - \mu_j)^2}{A_j^2 \sigma_j^2} > 1 \right\}. \quad (1)$$

Задав функцию последствий от опасных ситуаций в виде  $g(\mathbf{x})$ , получим модель для количественной оценки риска

$$r(\mathbf{X}) = \int \int_D \dots \int g(\mathbf{x}) f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}) d\mathbf{x}.$$

Рассмотрим наиболее распространенный частный случай, когда  $X$  имеет совместное нормальное распределение [4,5]. Аналогичные результаты будут и для других распределений компонент  $X_j$ . Зададим размерности от 1 до 5. Рассмотрим два предельных случая, когда определитель корреляционной матрицы  $|\mathbf{R}_X|$  равен 0 и 1. Результаты расчета вероятности (1) приведены на рис.1. Для большей наглядности примем  $A_1 = A_2 = \dots = A_m = A$ .

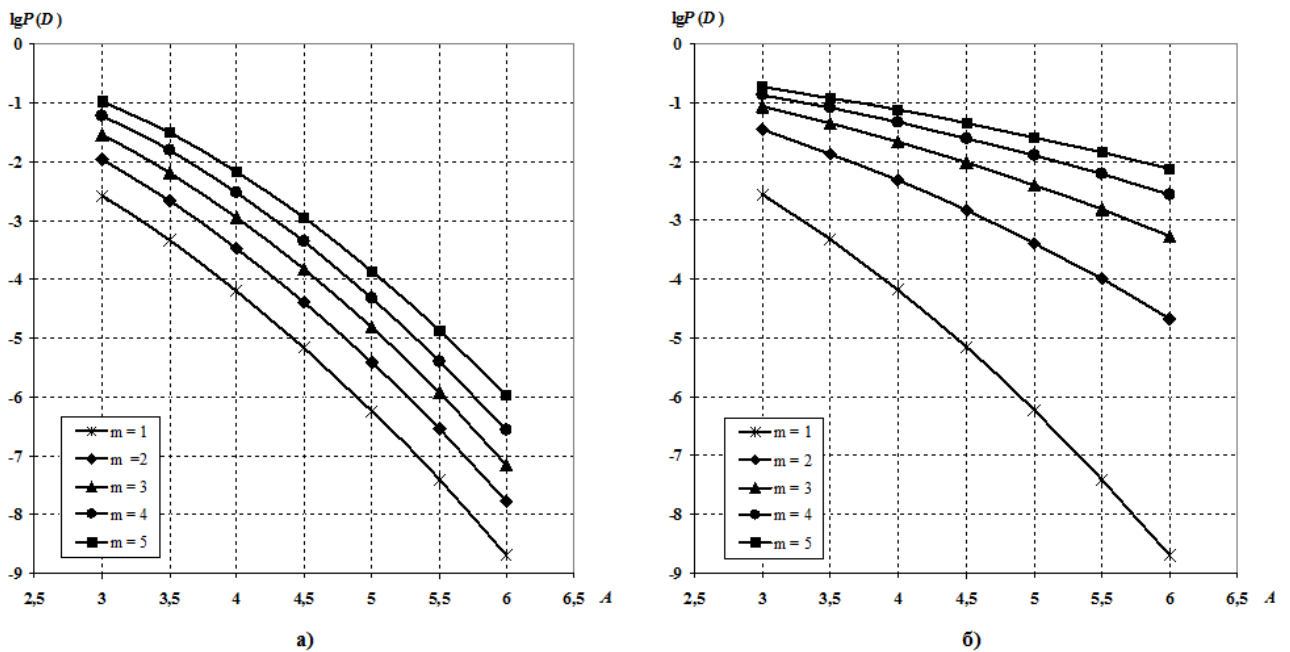


Рис. 1. Зависимости  $\lg P(D)$  от порогового уровня  $A$ : а)  $|\mathbf{R}_X| = 1$ ; б)  $|\mathbf{R}_X| = 0$ .

Видим, что увеличение размерности  $m$  и тесноты корреляционной связи между компонентами случайного вектора  $X$  приводит к резкому росту вероятности неблагоприятного исхода. Эффект усиливается с ростом размерности случайного вектора  $X$  и увеличением значений  $A_j$ , что соответствует менее вероятным, но более опасным неблагоприятным исходам.

В качестве иллюстрации на рис. 2 показан как меняется отношение вероятности неблагоприятного исхода  $P(D)$  при коррелированности и некоррелированности компонент случайного вектора  $X$  размерности  $m = 5$ .

Из рис. 2 видим, что с ростом  $A$  вероятность неблагоприятного исхода у коррелированных систем ( $|\mathbf{R}_X| \rightarrow 0$ ), по сравнению с некоррелированными ( $|\mathbf{R}_X| \rightarrow 1$ ), резко возрастает. В частности при  $A = 6$  вероятность неблагоприятного исхода более чем в 7000 раз выше у коррелированной системы по сравнению с некоррелированной.

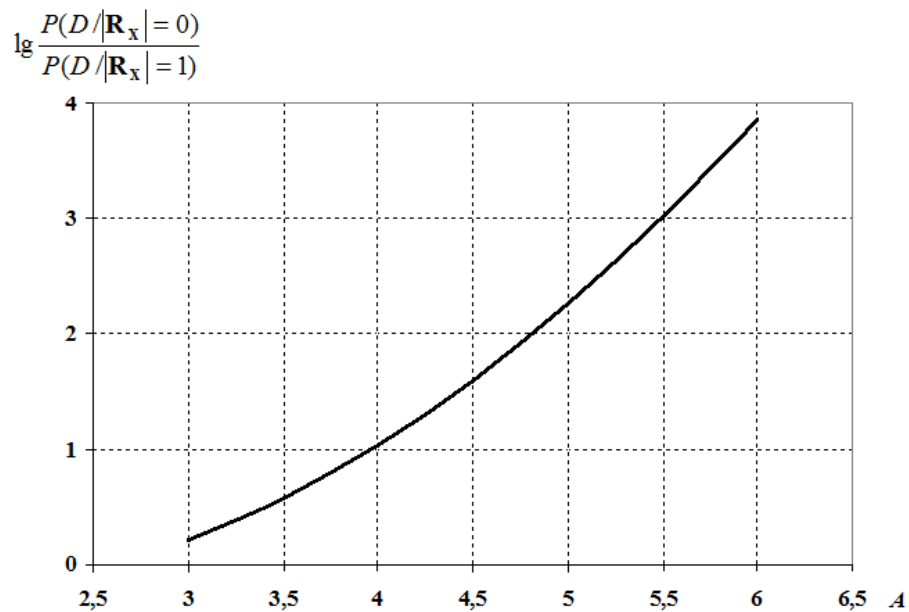


Рис. 2. Отношение вероятности неблагоприятного исхода  $P(D)$  при коррелированности и некоррелированности компонент случайного вектора  $X$  размерности  $m = 5$ .

Поэтому при моделировании риска в сложных системах нужно учитывать, как фактор многомерности, так и тесноту корреляционных связей.

#### Библиографический список

1. Rinaldi S.M., Peerenboom J.P., Kelly T.K. Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies // IEEE Control Systems, 2001, № 12, p. 11–25.
2. Тимашев С.А., Тырсин А.Н. Модели безопасности систем критичных инфраструктур // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2008, № 4, с. 20–28.
3. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике. М.: Деловой экспресс, 2004, 352 с.
4. Айвазян С.А. Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, 1985, 488 с.
5. Тимашев С.А., Тырсин А.Н. Построение линейной регрессионной модели на основе энтропийного подхода // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2009, Т. 75, № 3, с. 66–69.



**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ В ОСЕННЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД**

*Ширяева Н.П.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
kafedratgiv@yandex.ru

*Михайлишин Е.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
kafedratgiv@yandex.ru

*Маляр Е.А.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
kafedratgiv@yandex.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Центральное регулирование (ЦР) тепловой нагрузки, осуществляемое на источнике теплоты, является качественным, заключающимся в изменении температуры теплоносителя на входе в регулируемую теплопотребляющую установку, например, в систему отопления. Температура сетевой воды при этом для закрытых систем теплоснабжения в подающем трубопроводе не должна быть ниже  $70^{\circ}\text{C}$ .

При таком графике регулирования тепловой нагрузки центральное регулирование обязательно должно быть дополнено местным (МР), которое осуществляется в тепловом пункте здания и учитывает его особенности (планировку, назначение, режим работы). На рис. 1-3 представлены графики температур  $T_1$  и  $T_2$ , расходов теплоносителя  $G_0$  и теплоты  $Q_0$ .

Диапазон регулирования нагрузки можно разбить на два по температуре наружного воздуха: первый – от начала отопительного периода до температуры наружного воздуха в точке излома температурного графика (для Екатеринбурга  $-6^{\circ}\text{C}$ ), второй – от точки излома до расчётной температуры наружного воздуха для проектирования систем отопления (рис. 2).

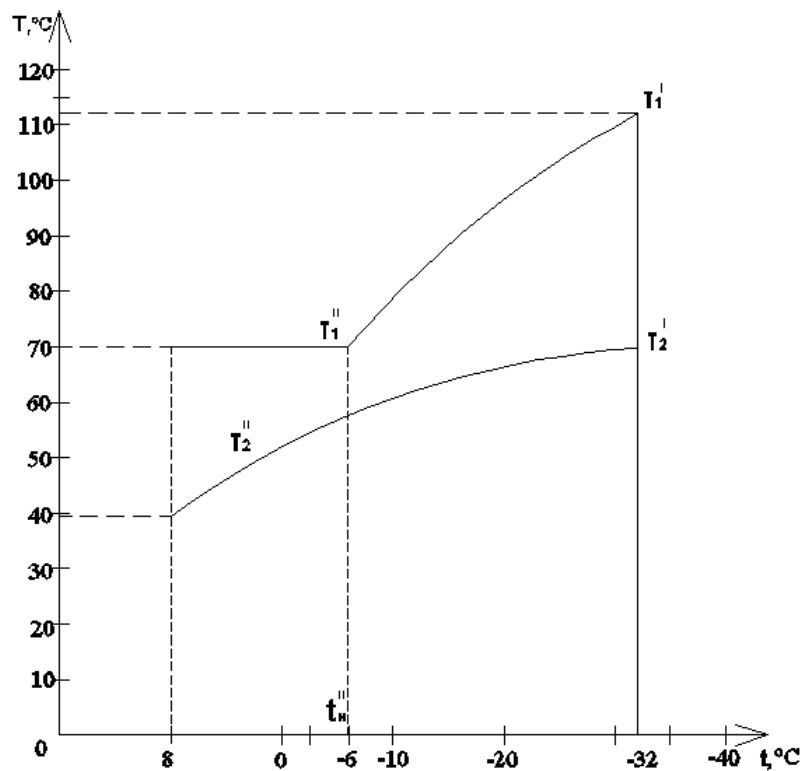


Рис. 1. Температурный график теплоносителя при центральном регулировании тепловой нагрузки на отопление

$T_1'$ ,  $T_2'$  – температуры теплоносителя соответственно в подающем и обратном трубопроводах в точке излома температурного графика

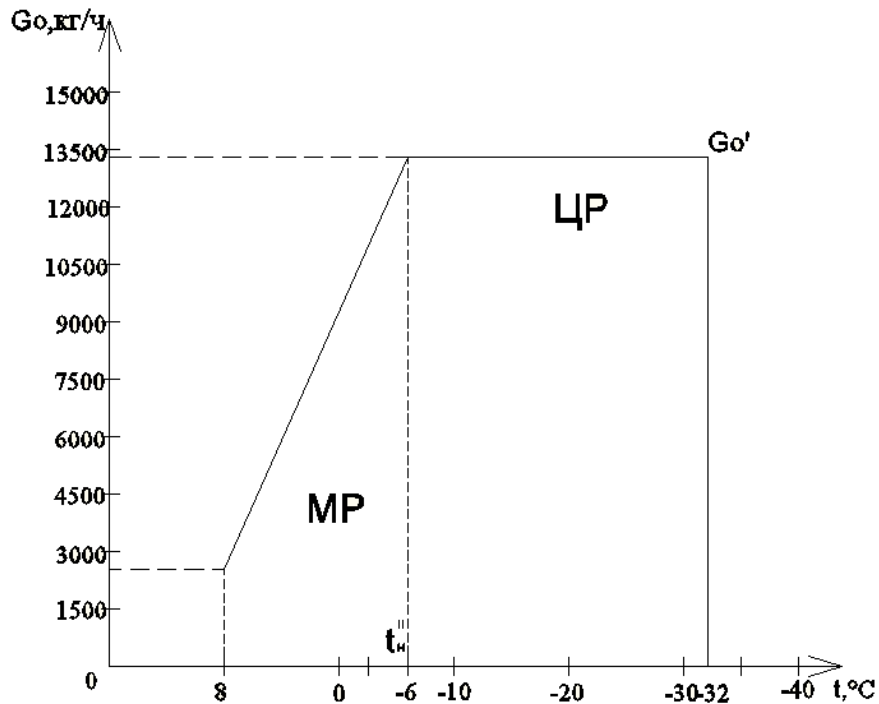


Рис. 2. График расхода теплоносителя при комбинированном регулировании тепловой нагрузки на отопление  
 $G_0'$  – расчетный расход теплоносителя

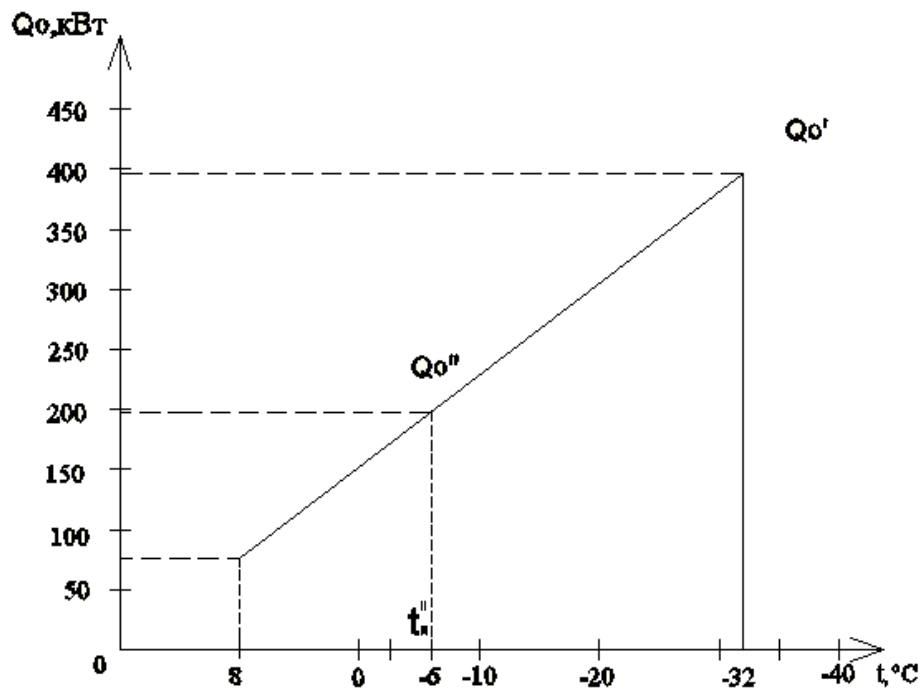


Рис. 3. График расхода теплоты при комбинированном регулировании тепловой нагрузки на отопление  
 $Q_0'$  – расчетный расход теплоты;  $Q_0''$  – расход теплоты в точке излома температурного графика

Во втором диапазоне с понижением температуры наружного воздуха увеличивается тепловая нагрузка (рис. 3), соответственно ей растёт и температура теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети (рис. 1). График регулирования тепловой нагрузки на отопление совпадает с графиком центрального регулирования, который построен по отопительной нагрузке. В этом диапазоне, в основном, может осуществляться центральное регулирование. Расход сетевой воды здесь постоянен (рис. 2).

В первом диапазоне (осенне-весенний период) с повышением температуры наружного воздуха тепловая нагрузка падает, соответственно ей должна уменьшаться и температура теплоносителя в подающем трубопроводе на входе в систему отопления (ниже  $70^{\circ}\text{C}$ ). Центральное регулирование должно быть дополнено местным регулированием, которое осуществляется изменением расхода сетевой воды (рис. 2). В случае отсутствия местного количественного регулирования в систему отопления будет поступать теплоноситель с повышенной температурой по сравнению с отопительным графиком, что приведет к росту температуры воздуха в помещениях.

При реконструкции системы отопления десятого студенческого корпуса УрФУ была произведена полная замена оборудования теплового пункта с установкой смесительного насоса и системой автоматического регулирования тепловой нагрузки вместо нерегулируемого элеваторного узла.

Расчет экономии тепловой энергии в осенне-весенний период при комбинированном регулировании тепловой нагрузки на отопление проводился при следующих исходных данных:

- расчётная тепловая нагрузка на отопление здания  $Q_0' = 381,1$  кВт;
- расчётная температура наружного воздуха  $t_0' = -32^{\circ}\text{C}$ ;
- средняя температура воздуха в помещениях здания  $t_i = +20^{\circ}\text{C}$ ;
- расчётная температура теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети  $T_1' = 115^{\circ}\text{C}$ , в обратном  $T_2' = 70^{\circ}\text{C}$ ;
- температура наружного воздуха в точке излома температурного графика  $t_n' = -6,0^{\circ}\text{C}$ ;
- стоимость тепловой энергии 880,19 руб/Гкал;
- повторяемость температур наружного воздуха для Екатеринбурга  $n_i$  [1];
- площадь световых проемов двух фасадов здания, ориентированных по сторонам света  $A_1 = 300 \text{ м}^2$  (южный фасад),  $A_2 = 204 \text{ м}^2$  (северный фасад);
- средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности двух фасадов, ориентированные по сторонам света,  $J_1 = 1862 \cdot 10^3 \text{ кДж/м}^2$ ,  $J_2 = 1210 \cdot 10^3 \text{ кДж/м}^2$ , по [2];
- продолжительность отопительного периода  $n_0 = 221$  сут.;
- средняя температура наружного воздуха за отопительный период  $-5,4^{\circ}\text{C}$ .

Экономия тепловой энергии  $\Delta \Sigma Q_0$ , кДж, при установке узла регулирования определяется по формуле

$$\Delta \Sigma Q_0 = \Sigma Q_0'' - \Sigma Q_0^{cp},$$

где  $\Sigma Q''_0$  – количество потребляемой тепловой энергии зданием при отсутствии узла регулирования, кДж.

Эта величина определяется с учетом тепловой нагрузки  $Q''_0$  по температуре наружного воздуха в точке излома температурного графика  $t''_n$ .

$$\Sigma Q''_0 = Q''_0 \cdot n = Q'_0 \frac{t_i - t''_n}{t_i - t'_0} \cdot n.$$

Здесь  $n$  – продолжительность стояния (повторяемость) температур наружного воздуха от  $+8^\circ\text{C}$  до  $t''_n$ , с.

Количество потребляемой тепловой энергии зданием при наличии узла регулирования  $\Sigma Q_0^{\text{cp}}$ , кДж, определяется по формуле

$$\Sigma Q^{\text{cp}} = Q^{\text{cp}} \cdot n = Q'_0 \frac{t_i - t_{\text{cp}}}{t_i - t'_0} \cdot n.$$

Здесь  $Q_0^{\text{cp}}$  – тепловая нагрузка, потребляемая зданием, рассчитанная по средней температуре  $t_{\text{cp}}$  в диапазоне от  $+8^\circ\text{C}$  до  $t''_n$ , кДж [3].

Доля сэкономленной тепловой энергии с учетом тепlopоступлений от солнечной радиации за отопительный период составит, %,

$$\Delta = \frac{\Sigma Q}{\Sigma Q_0^{\text{on}}} \cdot 100,$$

где  $\Sigma Q_0^{\text{on}}$  – количество тепловой энергии, потребляемой системой отопления здания в течение отопительного периода, кДж [3].

В результате расчётов количество тепловой энергии, сэкономленное в осенне-весенний период, при установке узла регулирования составило 15,1 %.

Для регулирования тепловой нагрузки в соответствии с расчетным графиком в диапазоне, в котором режим тепlopотребления не обеспечивается центральным качественным регулированием, в тепловом пункте следует предусмотреть присоединение системы отопления со смесительным насосом на вводе. В этом случае с изменением расхода сетевой воды с помощью регулирующего клапана уменьшается или увеличивается подача смесительного насоса, поддерживая количество теплоносителя после узла смешения постоянным и равным расходу воды в системе отопления.

#### Библиографический список

1. Водяные тепловые сети: справ. пособие по проектированию / И.В. Беляйкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов [и др.] - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376с.

2. ТСН от 12.11.2004 г. Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормы по энергопотреблению и теплозащите / Постановление Правительства Свердловской области от 12.11.2004 №1062 – ПП. Екатеринбург. 2004г.
3. Ширяева Н.П., Михайлишин Е.В., Маляр Е.А. Оценка эффективности комбинированного регулирования тепловой нагрузки на отопление в осенне-весенний период / «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды»: сборник материалов X международной научной конференции. – Волгоград-Хайфа: изд-во ВГСУ, 2014. – С.163 – 169.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАРУШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ**

*Шишмаков С.Ю.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

*Сафронов А.Г.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

*Насчетникова О.Б.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Статистические данные аварий на водопроводе г. Екатеринбурга показывают, что 95% повреждений городской водопроводной сети, приводящих к излиям воды, связаны с разгерметизацией водопроводов. Причиной нарушения герметичности являются в основном сквозные свищи на стальных водопроводах, расхождение труб в раструбах и переломы на чугунных, пластмассовых и керамических трубопроводах.

Анализ работы водопроводной сети города показывает, что реальные сроки службы труб из различных материалов весьма отличаются от нормативных. Состав и порядок технического обслуживания, ремонта и реконструкции муниципальных систем водоснабжения РФ, содержащиеся в нормативных документах, и нормативное обеспечение работ материально-техническими и финансовыми ресурсами не соответствуют реальным затратам. Поэтому необходимо учитывать реальные условия эксплуатации трубопроводов системы водоснабжения города.

Статистические данные показывают снижение интенсивности отказов при увеличении диаметров труб и повышение интенсивности отказов при увеличении срока эксплуатации. Отмечается относительное постоянство интенсивности отказов в пределах 10-17 лет эксплуатации сети. Затем независимо от материала труб интенсивность аварий резко возрастает. Это относится к работе трубопроводов всех диаметров и для всех районов водопроводной сети. При этом вероятность отказа участка трубопровода в настоящий момент зависит от наличия и интенсивности отказов в прошлом.

Основным фактором, влияющим на аварийность трубопроводов, оборудования (арматуры) и безвозвратные потери воды, является величина давления (напора) воды на участке сети. Напоры в водопроводной сети меняются в диапазоне 15-70 м. вод.ст. для снижения риска возникновения аварий с изливом необходимо осуществлять мероприятия, направленные на регулирование величин свободных напоров по часам суток.

Обобщение опыта работы МУП «Водоканал» г. Екатеринбурга последних лет показывает, что условия эксплуатации и критериальные факторы, нарушающие надежность трубопроводов городского водопровода по степени их влияния на надежность труб, могут быть отнесены к двум группам.

В первой группе важнейших факторов:

- материал труб и его качество;
- диаметр трубопровода;
- год укладки;
- наличие внешнего и внутреннего антикоррозийного покрытия;
- величина и динамика изменения напоров в сети.

Во второй группе статистически менее важных факторов:



- грунтовые условия;
- наличие блуждающих токов;
- интенсивность автомобильного движения;
- качественные показатели воды;
- плотность наземной и подземной инфраструктуры;
- сезон года.

Все перечисленные факторы оказывают отрицательное воздействие на трубопроводы в разной степени. Однако степень воздействия непостоянна и зависит от сочетания данных факторов, которое может меняться с течением времени. Данные факторы нужно учитывать при проектировании и эксплуатации сетей, поэтому обширная информация по воздействующим факторам должна накапливаться в специально созданной базе данных. В большинстве случаев невозможно получить численные показатели воздействия данных факторов. Поэтому единственно возможный путь получения количественных признаков нарушения работоспособности трубопроводов – статистическая оценка работы городского водопровода [1, 2].

Методически это может быть выполнено следующим способом, предложенным авторами.

Надежность участка сети принято оценивать с помощью вероятности аварии (или безотказности работы) [3]. При этом считается, что аварии распределены в соответствии с законом Пуассона [4], который можно записать в виде

$$P_l(X) = \frac{a^X e^{-a}}{X!}; \quad a = lt$$

В этой формуле  $P_l(X)$  – вероятность наступления  $X$  аварий за время  $t$ ,  $e$  – основание натурального логарифма,  $l$  – параметр Пуассона.

Ниже объясняется смысл участвующих в формуле величин и способ получения их значений.

Допустим, что имеется статистика числа аварий ( $X_l$ ) на участке по годам ( $l$ ):

$$X_1, X_2, \dots, X_l, \dots, X_{t-1}, X_t.$$

$$X_l = 0, 1, \dots, K.$$

Вычислим

$$a = \sum_{i=1}^l X_i; \quad l = \frac{a}{t} \text{ – среднее число аварий за год}$$

Вероятность того, что в данном промежутке времени длительностью  $t$  лет, произойдет  $X$  аварий (при среднем числе аварий в году  $l$ ) будет равна  $P_l(X)$ .

В частности при  $t = l$  получаем  $a = l$  и

$$P_l(X) = \frac{l^X e^{-l}}{X!}.$$

Вероятность отсутствия аварий можно посчитать по формуле

$$P_l(0) = \frac{l^0 e^{-l}}{l}$$

Если мы хотим оценить вероятность  $X$  аварий в  $(t+1)$  году, используя статистику за предыдущие  $t$  лет, то сначала желательно определиться с тем, какой будет величина  $lt+1$ . Для этого можно поступить следующим образом. Сначала определяется среднее ускорение  $b$  изменения величины  $l$  за год:

$$b = \frac{2(a_l + l_0 t)}{t_2},$$

где  $a_l$  – суммарное число аварий за период  $t$ ;  $l_0$  – «накопленное» начальное значение  $l$  (если  $t$  не совпадает с возрастом трубопровода; если совпадает с возрастом, то  $l_0 = 0$ ).

Вычисляется суммарное число аварий за время  $(+1)$  лет.

$$P_l = \frac{l^X e^{-l}}{X!}$$

Определяется

$$l_{t+1} = \frac{a_{t+1}}{t+1}$$

Вычисляется

$$l_{t+1} = \frac{l_{t+1}^X e^{-l_{t+1}}}{t+1}$$

В итоге, выполняя статистический расчет, используя закон Пуассона, получаем показатели, которые могут представить практический интерес:

- $a$  – суммарное число аварий за период наблюдений;
- $l$  – среднее число аварий за год;
- $P_l(0)$  – вероятность отсутствия аварий в прогнозируемом году;
- $1 - P_l(0)$  – вероятность аварий в прогнозируемом году;
- $P_l(n)$  – вероятность, что в прогнозируемом году произойдет  $n$  аварий.

Кроме того, на практике возникают задачи сопоставления, соответственно, физических измерений и статистики аварийности. Для решения этой задачи необходим мониторинг сети, в основе которого лежит база данных.

Исходя из классификации факторов, снижающих надежность водопроводных сетей, в состав базы данных должно входить:

- графически выполненная карта города;
- соответствующий карте план сетей;
- набор данных, характеризующий участок.

В свою очередь набор данных, характеризующих участок, может включать:

- сведения об участке (колодцы и камеры, элементы благоустройства и другие сведения по усмотрению);
- данные о трубах;
- данные о внутренней среде труб (степень зарастания, агрессивность воды и пр.);
- данные о внешней среде труб (подземные воды и глубина их залегания, интенсивность транспортных и пассажиропотоков, тип грунта и т.д.);
- гидравлические показатели транспортируемой воды (скорость, напор, объем, динамика изменения напоров и т.д.).

База данных – это основной носитель и источник текущей информации о сети и информации о ее прошлом, является основой системы мониторинга сети. При определении состава базы данных главным является достаточность показателей для оценки надежности. Критериальная оценка данных определяет назначение базы данных, которое состоит в том, чтобы сформировать связь имеющейся в базе информации с оценкой надежности и сопутствующих ей свойств сети. Иными словами, база данных должна стать инструментом для формирования критериев надежности сети.

#### Библиографический список

1. Найманов А.А. О надежности систем водоснабжения и водоотведения. Водоотведение и санитарная техника. 2005, №5
2. Гальперин Е.М., Полуян В.И., Чувипин В.И. Надежность систем водоснабжения и водоотведения. Водоснабжение и санитарная техника, 2006, №9
3. Абрамов Н.Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды. М.: Стройиздат, 1972.
4. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. М.: Стройиздат, 1979 – 231 с.

**Международная конференция  
«Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур»**

# **АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ ДЛЯ НАЗЕМНОГО МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА**

*Шубина Е.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

*Гурьев Е.С.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

*Полуян Л.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия  
ФГБУН НИЦ «Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс  
больших систем и машин» УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия  
sec@wekt.ru

**10-11 июня 2015 года,  
Екатеринбург, Россия**

Трубопроводные системы покрывают 35 % территории страны, на которой проживает около 60 % населения страны. Самой крупной нефтепроводной системой в мире является трубопроводная сеть ОАО АК «Транснефть», которая имеет протяженность 46,8 тысяч километров со средним диаметром трубопроводов 860 миллиметров. Средняя дальность трубопроводной поставки нефти – 2000 км. На магистральных нефтепроводах действуют 395 насосных станций, резервуарные парки насчитывают 898 резервуаров общей вместимостью 13,1 млн. м<sup>3</sup> [1].

Тесная связь трубопроводной системы с окружающей средой объясняется обширной географией трубопроводного транспорта, огромной протяженностью трубопроводов, которые пересекали все природно-климатические пояса, подземным и наземным расположением линейной части, а также размещением насосных и компрессорных станций в самых разных природных условиях. Как правило, взаимовлияние трубопроводных комплексов и природной среды носит негативный характер.

Анализ статистических данных по авариям на МН показал, что более 60 % аварий происходит из-за несанкционированных врезок, которые сложно контролировать.

При анализе риска эксплуатации МН рассматриваются следующие типы отверстий истечения:

- свищ – отверстие с площадью дефектного отверстия:  $S_{\text{отв}} = 0,0072 \cdot S_0$ ;
- отверстие – отверстие с площадью дефектного отверстия:  $S_{\text{отв}} = 0,0448 S_0$ ;
- гильотинный разрыв – отверстие на полное сечение трубопровода, где  $S_0$  – площадь сечения трубопровода.

Время истечения нефти на каждом периоде имеет свое значение и зависит от площади отверстия. Оно учитывает процессы, происходящие на данный момент с трубопроводом, и определяется согласно нормативным источникам. Следует отметить, что время каждого соответствующего периода истечения в разных источниках [2, 3, 4] отличается друг от друга.

При расчете истечения общий объем вытекшей нефти состоит из трех составляющих объемов: вытекшей нефти с момента обнаружения повреждения трубопровода до остановки перекачки, вытекшей нефти из трубопровода с момента остановки перекачки до закрытия задвижек и вытекшей нефти из трубопровода с момента закрытия задвижек до прекращения утечки [5].

В результате разлива нефти происходит загрязнение земли при ее насыщении, загрязняются подземные воды, испарение приводит к загрязнению атмосферы. Анализ методик расчета нефтяного загрязнения земли показал значительный разброс полученных значений. Это связано с тем, что в них принимаются различные допущения, приводящие при расчетах к значениям ущерба, отличающимся на порядок между собой.

В настоящей работе:

- проведен анализ существующих методов расчета оценки риска аварийных разливов нефти при разных видах разгерметизации трубопровода;
- разработан комплекс программ для практического использования при подготовке планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти.
- разработана инженерная методик оценки риска при разливе нефти из МН, которая может быть использована при разработке планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов.

Библиографический список

1. Взаимовлияние систем трубопроводного транспорта и природной среды. URL: <http://oilloom.ru/85-promyshlennaya-bezopasnost-okhrana-truda-ekologiya-strakhovanie-opasnykh-obektov/354-vzaimovliyanie-sistem-truboprovodnogo-transporta-i-prirodnoj-sredy> (дата обращения: 10.03.2015)
2. Постановления Правительства Российской Федерации от 21.08.2000г. № 613 «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» (в ред. Постановления Правительства РФ от 15.04.2002г. № 240)
3. Акимов В.А., Воробьев Ю.Л., Соколов Ю.И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. М.: Ин-октаво, 2005. 386 с.
4. Методические основы проведения анализа риска и обоснования показателей промышленной и экологической безопасности для магистральных нефтепродуктопроводов: учебное пособие / В.С. Сафонов [и др.]. М.: МАТИ, 2010. 183 с.
5. Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах (утв. Минтопэнерго РФ 1 ноября 1995 г.)